



Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner

Del 1: Konstruktioner/systemer, Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer

Tommerup, Henrik M.; Rose, Jørgen

Publication date:
2003

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Tommerup, H. M., & Rose, J. (2003). *Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner: Del 1: Konstruktioner/systemer, Byggesystem: Skalmurede porebetonelementer*. Byg Rapport No. r-056
<http://www.byg.dtu.dk/publications/rapporter/r-056.pdf>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Henrik Tommerup
Jørgen Rose

Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner Del 1: Konstruktioner/systemer

Byggesystem: Skalmurede
porebetonelementer

DANMARKS
TEKNISKE
UNIVERSITET



Rapport
BYG • DTU R-056
2003

ISSN 1601-2917
ISBN 87-7877-116-1

Forsøgshus med nye typer klimaskærmskonstruktioner Del 1: Konstruktioner/Systemer

Byggesystem: Skalmurede
porebetonelementer

Henrik Tommerup
Jørgen Rose



Department of Civil Engineering
DTU-bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
<http://www.byg.dtu.dk>

2003

FORORD

Denne rapport beskriver konstruktioner og systemer samt varmetabsberegninger og simuleringer af energiforbrug for et højisoleret enfamilieshus med bærende porebetonelementer. Huset har et forventet energiforbrug til rumopvarmning på 47 % af den nugældende energiramme (280 MJ/m²/år), jf. Bygningsreglement for Småhuse [1].

Rapporten er udarbejdet af BYG•DTU i forbindelse med projektet ”Forsøgsbygninger med nye typer klimaskærmskonstruktioner” (j. nr. 1213/00-0011), der hører under Energistyrelsens Energiforskningsprogram 2000 (EFP 2000). Projektet er udført i samarbejde mellem BYG•DTU og By og Byg (Statens Byggeforskningsinstitut).

Huset beskrevet i rapporten, er et blandt flere huse, der indgår i projektet. De andre huse beskrives i separate rapporter. For alle huse gælder at der bliver udført detaljerede målinger af energiforbrug mm., og disse redegøres der for i særskilte rapporter.

Huset er opført af Lind & Risør A/S, som har samarbejdet med BYG•DTU om udviklings- og optimeringsmæssige aspekter. Fra Lind & Risør har deltaget Tegnestecheff Hans Steffensen og kvalitetschef Jan Hansen, og fra BYG•DTU har deltaget Professor Svend Svendsen, Forskningsadjunkt Jørgen Rose og Forskningsadjunkt Henrik Tommerup.

Rapportens forfattere er:

Henrik Tommerup, forskningsadjunkt, BYG•DTU.

Jørgen Rose, forskningsadjunkt, BYG•DTU.

Professor Svend Svendsen, BYG•DTU, har været projektleder.

Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, august 2003.

RESUMÉ

Huset beskrevet i denne rapport er et blandt flere huse der indgår som forsøgshus i projektet ”Forsøgsbygninger med nye typer klimaskærmskonstruktioner”; et projekt under energiforskningsprogram 2000 (EFP2000). Huset er beliggende i Snekkersten.

Projektets ene formål er at demonstrere, at det er muligt at bygge typiske enfamilieshuse med et energiforbrug der opfylder forventede skærpede krav i bygningsreglementet, og at det kan ske byggeteknisk forsvarligt og indenfor fornuftige økonomiske rammer. Det er således også formålet at medvirke til at styrke udviklingen af bedre klimaskærmskonstruktioner ved blandt andet at vise gode eksempler på integration af vinduer og installationer. Projektets andet formål er at foretage detaljerede målinger af energiforbrug mm., således at den varmetekniske ydeevne for fremtidens klimaskærmskonstruktioner underbygges.

Rapporten omhandler husets konstruktive udformning og energisystemer samt varmetabsberegninger og forventede energiforbrug. Der er desuden redegjort for baggrunden for valg af konstruktioner/systemer.

Rapporten indledes med en kortfattet gennemgang af projektets baggrund og formål. Derefter beskrives konstruktioner og samlingsdetaljer samt varme- og ventilationsanlæg, der sammen med det detaljerede tegningsmateriale vedlagt bagerst i rapporten, giver et overblik over husets konstruktive opbygning.

I rapportens kapitel 2 gennemgås varmetabsberegningerne. Disse er foretaget dels vha. de detaljerede beregningsprogrammer HEAT2 [2], HEAT3 [3] og THERM [4] til beregning af kuldebroeffekter, dvs. linie- og punkttabskoefficienter, mens U-værdier for konstruktioner med homogene lag er beregnet ud fra reglerne angivet i DS418 [5]. Derefter sammenfattes resultaterne af beregningerne og der opstilles en beregning af husets forventede dimensionerende varmetab samt den samlede kuldebroandel.

Der foretages ligeledes simuleringer af husets opvarmningsbehov og indeklima ved brug af simuleringsprogrammet BSIM2000 [6]. Resultaterne der præsenteres er husets energibalance og den forventede operative temperatur i udvalgte rum.

Der gennemføres også en række parameteranalyser. I den forbindelse undersøges betydningen af et mindre internt varmetilskud, en mindre effektiv varmegenvinding, en mindre infiltration (mere lufttæt klimaskærm) og gulvvarmeslangernes temperatur.

By og Byg (Statens Byggeforskningsinstitut) har ultimo 2001 udsendt et oplæg til nye energibestemmelser i det forventede Bygningreglement år 2005 [7]. Heri er lagt op til at bygninger skal opfylde krav til det samlede energiforbrug (energibehovet til opvarmning, ventilation og køling i form af både varme og el), og altså ikke som nu kun varmekonsumet til opvarmning og ventilation. Derfor har det været relevant at undersøge om huset opfylder de kommende krav. Beregningen er mere en illustration af metoden (hvordan det samlede energiforbrug beregnes) end en konkret eftervisning af at bruttoenergiforbruget er overholdt, da der er tale om et første udkast til nye bestemmelser.

Der foretages desuden en økonomisk vurdering af de energibesparende tiltag, som er anvendt i huset. Slutteligt redegøres for de konklusioner der kan drages af de beregninger og simuleringer der er beskrevet i rapporten.

SUMMARY

Report R-056: Experimental building with new types of building envelope structures.

Part 1: Structures / Systems.

Building system: Aerated light-weight concrete elements incorporating a facing wall.

The house described in this report is one of several experimental houses forming part of the project “Experimental buildings with new types of building envelope structures” (Forsøgsbygninger med nye typer klimaskærmskonstruktioner), which is a project under the Energy Research Programme 2000 (EFP2000). The house is standing in Snekkersten.

One purpose of the project is to demonstrate that it is possible to build typical single-family houses with an energy consumption that meets anticipated intensified requirements of the building regulations, and that it can be made securely from the point of view of construction technology and within reasonable financial limits. Thus, the purpose is also to contribute to strengthen the development of better building envelope structures, for example by showing good examples of integration of windows and installations. The other purpose of the project is to carry out detailed measurements of energy consumption etc. to validate the thermal performance of future building envelope structures.

The report deals with the constructive design and energy systems of the house plus heat loss calculations and expected energy consumption. Furthermore an account is given of the motivations behind the choice of structures and systems. The report begins with a brief summary of the background and objectives of the project.

Then construction and assembling details and heating system and ventilation system are described, which, together with the detailed plan material enclosed at the back of the report, give a survey of the construction of the house.

In chapter 2 of the report, heat loss calculations are gone through. These have been made partly by means of the detailed calculation programs HEAT2 [2], HEAT3 [3] and THERM [4] for calculation of thermal bridge effects, i.e. line and point heat loss coefficients, whereas U-values for constructions with homogeneous layers have been calculated from the rules stated in DS418 [5]. Then the results of the calculations are summarized and a calculation is made of the expected dimensioned heat loss of the house plus the total thermal bridge part.

Equally, simulations are made of the heating demand and indoor climate of the house by means of the simulation program BSIM2000 [6]. The results are the energy balance of the house and the expected operative temperature in selected rooms.

A number of parameter analyses are also carried out. In that connection the influence of a smaller internal heat supplement, a less efficient heat recovery unit, a smaller infiltration (more airtight building envelope) and the temperature of the floor heating pipes are investigated. At the end of 2001 By og Byg (the Danish Building Research Institute) published a proposal for new energy regulations in the prospective Building Regulations in 2005 [7]. This sets the scene for buildings to meet the requirements for the total energy consumption (the energy requirement for heating, ventilation and cooling in the form of both heating and electricity), i.e. not as now just the heat consumption for heating and ventilation. It has therefore been relevant to investigate whether the house meets the future requirements. The calculations are an illustration of the method (how the total energy consumption is calculated) rather than a concrete demonstration of the fact that the gross energy limits has been observed, as it is the first draft of new regulations.

Furthermore, an economical estimation is made of the energy-saving measures that are used in the house.

Finally, an account is given of the conclusions that can be drawn from the calculations and simulations that are described in the report.

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	1
RESUMÉ	3
SUMMARY	5
INDHOLDSFORTEGNELSE	7
1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL.....	9
1.1 Baggrund.....	9
1.2 Formål.....	9
2 BEREKNING AF VARMETABSKOEFFICIENTER MM.	11
2.1 Beskrivelse af konstruktioner og systemer	11
2.2 Beskrivelse af samlingsdetaljer.....	16
2.3 Beregning af konstruktioner, U-værdier	16
2.4 Beregning af samlingsdetaljer, Ψ -værdier og L-værdier	19
2.5 Sammenfatning af resultater	22
3 BEREKNING AF ENERGIFORBRUG OG INDEKLIMA.....	25
3.1 Beskrivelse af bygningsmodel	25
3.2 Simulering.....	26
3.3 Resultater	28
4 BAGGRUND FOR VALG AF KONSTRUKTIONER / SYSTEMER.....	35
4.1 Referencehus vs. forsøgshus	35
4.2 Økonomisk vurdering af energibesparende tiltag	37
5 KONKLUSION / SAMMENFATNING	45
5.1 Varmetab og kuldebroer.....	45
5.2 Opvarmningsbehov og indeklima	45
5.3 Økonomi	46
5.4 Konklusion generelt	46
6 REFERENCER.....	47
BILAG.....	49

1 PROJEKTETS BAGGRUND OG FORMÅL

1.1 Baggrund

I Energi 2000 (handlingsplan for en bæredygtig udvikling fra 1990) [8] forpligtede regeringen sig til at arbejde for, at nybyggeriets varmebehov reduceres til 50 % af det daværende niveau frem til år 2000. Bygningsreglementet, der kom i 1995, medfører en reduktion på 25 %. Før en yderligere skærpelse iværksættes, gennemføres de nødvendige udredninger og forsøgsprojekter, der belyser de økonomiske, byggetekniske, indeklima- og komfortmæssige konsekvenser. Målsætningen er i år 2005 at nedbringe energibehovet i nybyggeriet til et niveau, der svarer til 50 %-målsætningen i Energi 2000, dvs. med yderligere 33 %.

For at kunne opfylde de skærpede krav er der et stort behov for udvikling af nye klimaskærmskonstruktioner med bedre isolering og mindre kuldebroer.

I 1998 startede 2. fase af EFP-projektet ”Klimaskærm til fremtidens nybyggeri og energirenovering”, og projektet afsluttedes år 2000. Projektet, som blev gennemført ved Institut for Bygninger og Energi (nu BYG•DTU) på Danmarks Tekniske Universitet i samarbejde med SBI (nu By og Byg), havde til formål at udvikle nye klimaskærmskonstruktioner, som gør det muligt at opfylde de forventede skærpede krav. De udviklede konstruktioners varmetekniske ydeevne er dog udelukkende underbygget ved detaljerede beregninger.

For at igangsætte processen mht. at implementere de udviklede konstruktionstyper er der et stort behov for at underbygge konstruktionernes ydeevne under realistiske forhold, da byggebranchen må have sikkerhed for at grundlaget er i orden før ideerne indføres. Derfor er der et behov for både at vise de nye konstruktioner i en realistisk sammenhæng samtidig med at deres beregnede ydeevne underbygges ved realistiske in-situ målinger.

Danske typehusproducenter har vist interesse for projektet, hvilket har gjort det muligt at opføre rigtige forsøgshuse. Gennem samarbejde, udvikling og projektering direkte med typehusproducenter og underleverandører i en realistisk sammenhæng, foregår implementeringen af de nye konstruktioner derved på en hensigtsmæssig måde.

1.2 Formål

Projektets overordnede formål er at dokumentere den varmetekniske ydeevne for fremtidens klimaskærmskonstruktioner således at det eftervises at de forventede skærpelser til bygningsreglementet kan udføres byggeteknisk forsvarligt og indenfor fornuftige økonomiske rammer.

Det er hensigten at projektet skal medvirke til at styrke udviklingen af bedre klimaskærmskonstruktioner ved blandt andet at vise gode eksempler på integration af vinduer i de nye typer klimaskærmskonstruktioner samt illustrere hvordan husets systemer (gulvvarme- og ventilationsanlæg) kan udnyttes bedst muligt og derved medvirke til at nedbringe husets varmebehov. Desuden er det formålet at underbygge disse konstruktioners varmetekniske ydeevne ved at foretage detaljerede målinger af energiforbrug mv. Målingerne beskrives i særskilt rapport.

2 BEREGNING AF VARMETABSKOEFFICIENTER MM.

I dette afsnit gennemgås baggrunden for og resultaterne af de detaljerede beregninger af konstruktioner og samlingsdetaljers varmetabskoefficienter. Først gives en kortfattet beskrivelse af de enkelte konstruktioner og samlingsdetaljer samt varme- og ventilationssystemer. Herefter foretages beregninger af varmetabskoefficienter for hhv. konstruktioner og samlingsdetaljer, og der opstilles en samlet oversigt over resultaterne. Med hensyn til varmetabskoefficienterne foretages der beregninger af alle konstruktioner som indgår i huset samt alle de vigtigste samlingsdetaljer, dvs. de detaljer som indeholder de største kuldebrobidrag til det samlede transmissionstab.

Varmetabsberegninger er gennemført på baggrund af indvendige mål. Dette svarer ikke til metoden angivet i DS418, hvor visse konstruktioner regnes ud fra udvendige mål for at tage højde for kuldebroer som ikke direkte dækkes af beregningerne. I denne rapport medtages samtlige betydende kuldebroer direkte i beregningerne, og det er derfor ikke nødvendigt at justere arealerne for at tage højde for disse.

2.1 Beskrivelse af konstruktioner og systemer

Konstruktioner samt varme- og ventilationssystemerne beskrives kort i det følgende. Disse er vist dels i dette afsnit, dels i bilagssektionen.

2.1.1 Terrændæk

Konstruktionen består, regnet nedefra, af 75 mm singels ($\lambda=0,700$ W/mK), 250 mm ekspanderet polystyren ($\lambda=0,039$ W/mK), 100 mm fiberbeton ($\lambda=1,600$ W/mK) med gulvvarmeslanger og armeringsnet samt gulvbelægning i form af 14 mm parket ($\lambda=0,120$ W/mK), undtagen i baderum, køkken, entre og bryggers, som er klinkebelagt. Gulvvarmeslangerne er beliggende i den nederste tredjedel af betonlaget.

2.1.2 Ydervæg

Konstruktionen består af en 420 mm hulmur af teglsten og letbeton. Formuren består af 110 mm teglsten ($\lambda=0,730$ W/mK) og bagmuren af 100 mm porebetonelementer ($\lambda=0,190$ W/mK), som er forbundet med 7 stk. trådbindere pr. m² af 4 mm rustfrit stål ($\lambda=17$ W/mK). Muren er isoleret med 200 mm mineraluld ($\lambda=0,039$ W/mK) udført som to lag af 100 mm.

Ved vinduer og døres lodrette sider er af styrke- og afdækningsmæssige hensyn udført falselementer, og ved vinduers underfals er udført falselement og muret rulleskifte. Kuldebroisoleringen er ca. 80 mm ved begge false. Over de smalle vinduer er anbragt en 190 x 100 mm letbetonbjælke, og bjælken over døre i bryggers og entre har dimensionen 190 x 150 mm. Over bredde vinduer samt rumhøje glaspartier i stue er anbragt 260 x 150 mm bjælker. Kuldebroisoleringen ved overfalsen er generelt 70 mm.

2.1.3 Indervæg

Alle indervægge er udført af 100 mm porebetonelementer.

2.1.4 Loft-/tagkonstruktion

Konstruktion består, regnet nedefra, af:

- Gipsplader, 2 x 13 mm ($\lambda=0,200$ W/mK).
- Krydsforskalling 22 x 100 mm pr. 400 mm ($R=0,160$ m²K/W) fastgjort til spredt forskalling 28 x 95 mm pr. 600 mm ($R=0,160$ m²K/W). Forskalling er fastgjort til 45 x 145 mm spærfodder pr. 1,2 m.
- Dampspærre (plastfolie 0,15 mm) er placeret beskyttet mellem forskalling og spærfod.
- 150 mm mineraluld ($\lambda=0,039$ W/mK) mellem spærfodder.
- 250 mm ubrudt mineraluld i to lag ($\lambda=0,039$ W/mK) over spærfodder.
- Ventileret tagrum og tagsten på lægter med vindtæt undertag ($R=0,300$ m²K/W). Tagrummet ventileres via 50 mm åbninger ved tagfod i hvert 3. spærfag.

Alt træ forudsættes at være almindeligt konstruktionstræ med en densitet på 450 kg/m³ (0,120 W/mK).

Den dobbelte forskalling sikre at der er plads til at udføre elinstallationer (se Figur 1, billede til venstre). I Figur 1 (billede til højre) er vist at tætning af samlinger mellem plastfoliebaner er foretaget med tape. Desuden ses at der er anvendt rørkraver (selvklæbende tætningsplade af EPDM gummi) til at sikre tætheden hvor ventilationskanaler gennembryder dampspærren.



Figur 1. Loftkonstruktion under opførelse. Billedet til venstre viser at dampspærren er placeret beskyttet, idet den er trukket tykkelsen af to forskallingslag ind i konstruktionen. Billede til højre viser rørkrave og tape der sikrer tætheden hvor dampspærren gennembrydes og ved plastfoliesamlinger.

Der er anvendt en atypisk spærfodsløsning, idet denne er forskudt, så der er skabt plads til at fremføre ventilationskanalerne i den nederste del af loftkonstruktionen (se Figur 2). Derved reduceres kanalvarmetabet til et minimum.



Figur 2. Spærløsning anvendt i forsøgshuset – muliggøre fremføring af ventilationskanaler i den nederste del af loftkonstruktionen.

2.1.5 Vinduer og døre

Vinduer og døre er typiske trævinduer (type Rationel Domus) med sprosser, se bilag 10.

Ramme-karm profilet har som standard en tykkelse på 115 mm, men i det aktuelle hus er anvendt en 25 mm karm påforing, således at det har været muligt at øge kuldebroisoleringen i falsen.

Ruden er type SGG Climaplust fra Scanglas, der regnet ude fra består af: 4 mm glas, 18 mm 90 % / 10 % argon / luft mellemrum og 4 mm glas med lavemissionsbelægning på udvendig side. Til at holde afstand mellem de to glaslag er anvendt et ikke-metallisk afstandsprofil i form af profiltype Swisspacer V med ækvivalent varmeledningsevne på 0,26 W/mK. Ruden har en U-værdi på 1,17 W/m²K og en total solenergitransmittans på 63 %. U-værdier for ramme-karm og Ψ -værdier for ru-dekant er der redegjort for i afsnit 2.3.4.

I Tabel 1 nedenfor er vist en oversigt over de enkelte vinduer og døre. Det fremgår heraf at det samlede areal af vinduer og døre er 30,1 m², svarende til ca. 22 % af det opvarmede etageareal. Set for huset under ét er glasandelen 61 %.

Tabel 1. Oversigt over vinduer og døre, se bilag 10.

Vindues-/dørtype	Antal [stk.]	Bredde [m]	Højde [m]	A _f [m ²]	A _g [m ²]	l _g [m]	A [m ²]	Samlet Areal [m ²]
Vindue A21.00	6	1,488	1,188	0,62	1,15	6,5	1,77	10,6
Vindue A21.00	2	0,588	1,188	0,35	0,35	3,0	0,70	1,4
Vinduesparti A12.00	5	0,948	2,118	0,63	1,37	6,6	2,01	10,0
Dør A32.12	2	0,948	2,118	1,05	0,96	5,6	2,01	4,0
Dør A31.00	2	0,948	2,118	0,94	1,06	5,9	2,01	4,0
I alt								30,1

2.1.6 Varmeanlæg

Varmetilførslen til huset er baseret på fjernvarme. Der er anvendt en fjernvarmeveksler type V XV 33 TD og varmvandsbeholder VBF 100 MK II.

Gulvvarme er installeret i alle rum (Megatherm). Der er anvendt 16 x 2,0 Alu-Pex rør udlagt i en fiberbetonplade med en afstand på 25 cm – dog 16 cm i badeværelser og ved vinduespartier til gulv. Systemet styres via termostater i alle rum placeret i 170 cm højde.

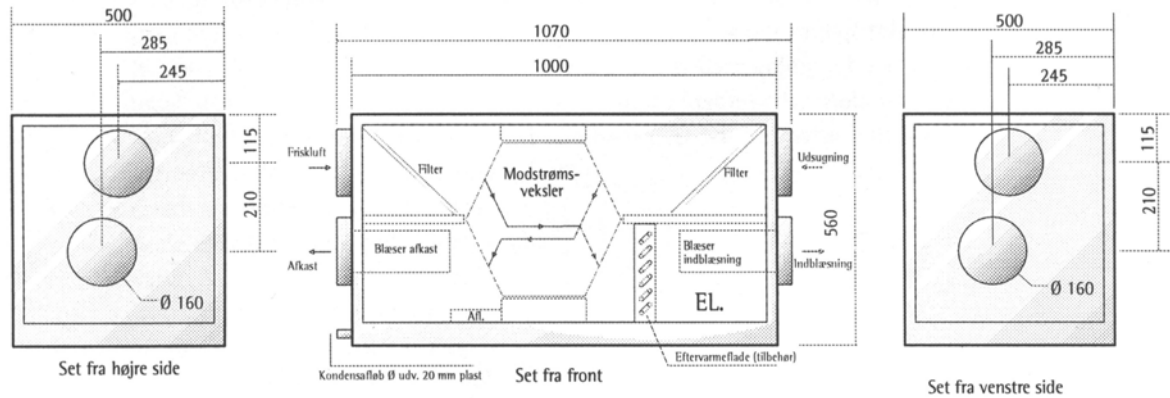
Fremløbstemperatur, let/tung gulvvarme mm.

Typisk anvendes en fast fremløbstemperatur i hele fyringssæsonen, der bestemmes på baggrund af det dimensionerende varmetab for det mest kritiske rum. Dette er især uhensigtsmæssigt i den første og sidste del af fyringssæsonen, hvor udetemperaturen langt fra når den dimensionerende temperatur. Derfor vil det være relevant at anvende en automatisk styring af fremløbstemperaturen efter udetemperaturen. En sådan styring overvejedes i dette projekt, men bygherren fravalgte løsningen. Det er dog altid muligt at regulere fremløbstemperaturen manuelt i et moderne gulvvarmesystem, men det er næppe en regulering den almindelige husejer husker at foretage. Ved at variere fremløbstemperaturen efter behovet for tilført varme, kan varmetabet gennem terrændæk og fundament begrænses og dermed kan opvarmningsbehovet reduceres. Besparelsen ved brug af en fremløbstemperatur styret efter udetemperaturen er fundet til 3 – 6 % i et projekt vedrørende udformning og styring af energirigtige gulvvarmeanlæg [16]. I denne rapport findes generelle anbefalinger for dimensionering og drift af energirigtige gulvvarmeanlæg.

Det påpeges i denne rapport at der i rum, hvor der anvendes en tung gulvkonstruktion med stor termisk masse og trægulv (god isolator), vil kunne opstå problemer med under- og overtemperaturer pga. træghed i tilførslen af varme til rummet samt langsom reaktionstid, når der efter en periode med behov for varmetilførsel ikke mere er et varmebehov pga. f.eks. solindfald. Det anbefales derfor generelt at anvende let gulvvarme, hvor det er muligt, idet let gulvvarme har en hurtigere reaktionstid og derved kan rumtemperaturen bedre styres. Let gulvvarme er gulvvarmeslanger lagt ud i et spor i en let plade (typisk trykfast isolering) med en tynd varmfordelingsplade i aluminium. Brug af let gulvvarme betyder at der ikke er en trykfordelende betonplade at stille indvendige vægge på, og det er derfor nødvendigt med fundamenter under disse vægge, hvilket forøger varmetabet. Let gulvvarme er egnet til trægulve, men ikke klinkegulve. Huse med en kombination af let gulvvarme (opholdsrum) og tung gulvvarme (øvrige rum) giver både et lavere opvarmningsforbrug og en bedre termisk komfort.

2.1.7 Ventilationanlæg

Der er i huset installeret et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding (Nila Comfort 300), der virker efter modstrømsprincippet. Ventilationsaggregatet (se Figur 3) består udover veksleren af to centrifugal ventilatorer med fremadkrummede skovle, der er drevet af DC-motorer, samt to filtre af typen EU3. Dertil kommer kanaler, lyddæmpere (lydflexslanger), kondensafløb mm. Kanaldimensionen er Ø160 mm ved indgang/udgang fra veksleren samt i hovedfordelingskanaler, og aftrappes til Ø125 mm ved fremføring til de enkelt rum. Anlæggets ventilatorer er 4-trinsstyrede og kan yde op til 275 m³/h (ved eksternt modtryk på 100 Pa). Der er ikke monteret en eftervarmefflade pga. varmevekslerens høje virkningsgrad, der sikrer en komfortable indblæsningstemperatur selv i meget kolde perioder.



Figur 3. Skematisk oversigt over ventilationsaggregatet.

Styring/regulering

For at undgå isdannelse er ventilationsaggregatet forsynet med en temperaturføler og regulering, der i princippet sikrer at afkastluften ikke kommer under 3 °C. Reguleringen foretages ved at indblæsningsluftstrømmen reguleres ned således, at den kolde luftstrøm bliver mindre end den varme luftstrøm (afkast-/udsugningsluftstrømmen), hvilket betyder at afkastluften nedkøles mindre og en temperatur på ca. 3 °C kan holdes i afkastluften. Hvis indblæsningsventilatorens laveste trin nås og temperaturen i afkastet ikke opfylder kravet, vil udsugningsventilatoren køre et trin op, hvilket erfaringsmæssigt er nødvendigt for at holde veksleren isfri ved længerevarende perioder med ekstrem kulde. Afrimningen stopper igen når afkastluften temperatur er større end 5 °C i mere end 5 min.

Hvis der forudsættes en rumtemperatur på 20 °C og en relativ fugtighed på 40 %, som må anses for et seriøst bud på en relativ fugtighed i fyringssæsonen, vil afkastluftens temperatur komme under 3 °C ved en udetemperatur på – 7 °C og den ovenfor beskrevet frostsikring/regulering vil blive aktiveret. I henhold til det danske referenceår, DRY, vil udetemperaturen være under –7 °C i ca. 200 timer eller 8 dage årligt.

Isolering

Anlægget er placeret på loftet og er som standard udstyret med 20-30 mm isolering. Der er lavet en overslagsmæssig beregning på varmetabet set over fyringssæsonen, som viser at dette ligger på i størrelsesordenen 50 kWh. Dette må betragtes for et relativt lille og acceptabelt varmetab.

Udnyttelse af motorvarme

Det skal bemærkes at motorvarmen fra udsugningsventilatoren ikke udnyttes til opvarmning af udsugningsluften inden den passerer varmeveksleren, idet den er placeret efter veksleren. Årsagen til at den ikke er placeret varmeteknisk optimalt skyldes, at en placering før veksleren vil betyde at "luftstrålen" ramme en mindre del af veksler arealet, da den derved skal presse luften igennem veksleren i stedet for som i dag, suge det igennem, dvs. virkningsgraden vil falde over veksleren og neutraliserer den ønskede effekt. Der kan naturligvis udformes nogle luftfordeler plader, men det kræver en merudgift, evt. ændret byggemål på aggregatet og et ekstra tryktab.

Temperaturvirkningsgrad

Varmevekslerens temperaturvirkningsgrad er blevet målt i forbindelse med en prøvning på Teknologisk Institut [9]. Virkningsgraden er fundet som den tørre temperaturvirkningsgrad for varmeveksleren, når den sidder i ventilationsaggregatet. For at mindske betydningen af varmetil- og fraførsel fra ventilationsaggregatet er den varme luft tilført aggregatet med en overtemperatur på ca. 10 K ift. rumtemperaturen, og den kolde luft tilført aggregatet med en undertemperatur på ca. 10 K ift. rumtemperaturen. Virkningsgraden er målt til 92 % ved en volumenstrøm på ca. 90 m³/h

rumtemperaturen. Virkningsgraden er målt til 92 % ved en volumenstrøm på ca. 90 m³/h faldende til 84 % ved ca. 210 m³/h.

Eleffektivitet

Der er også i forbindelse med ovenstående prøvning foretaget målinger af ventilationsaggregatets eleffektivitet ved et eksternt modtryk i kanalsystem mm. på 150 Pa. Dette modtryk er normalt for enfamilieshuse, hvor aggregatet typisk anvendes. Der er målt på både ventilatorer med AC og DC motorer. Målinger viste at elforbruget var hhv. ca. 159 W og 84 W ved en luftstrøm på 216 m³/h (= 60 l/s), som er bygningsreglementets krav til den aktuelle hus. Tallene viser at der i forsøgshuset er opnået en væsentlig el-besparelse ved at bruge DC-motorer frem for traditionelle AC-motorer.

2.2 Beskrivelse af samlingsdetaljer

De vigtigste samlingsdetaljer, dvs. samlingen mellem terrændæk og ydervæg (fundamentet), samlingen mellem vindue og ydervæg (vinduestilslutninger) og samlingen mellem loft-/tagkonstruktion og ydervæg (tagfoden) fremgår af tegningerne i hhv. bilag 5-9.

I forbindelse med vinduer og døres ramme-karm konstruktion er der helt utraditionelt anvendt en 25 mm påforing, således at det har været muligt at forøge kuldebroisoleringen i falsen tilsvarende. I øvrigt er der i rudens kantkonstruktion anvendt et afstandsprofil i et svagt varmeledende materiale, hvilket reducerer varmetabet betydeligt, idet der normalt anvendes profiler i galvaniseret stål eller aluminium.

Fundamentet er varmeteknisk en særdeles god løsning, idet soklen er udført med ca. 90 mm midterisolering og adskilt fra betonklaplaget med 20 mm isolering. Fundamentet er naturligvis udformet lidt anderledes ved døre-/glaspartier, men kuldebroisoleringen er stadig god, idet der er etableret 40 mm isolering mellem sokkel og betonlag.

2.3 Beregning af konstruktioner, U-værdier

Beregningerne foretages på baggrund af den nye DS418 6. udgave (Beregning af bygningers varmetab). Standarden er netop blevet revideret, således at beregningen af U-værdien tager udgangspunkt i den deklarerede varmeledningsevne for isoleringsmaterialet bestemt ifølge de harmoniserede europæiske produktstandarder. Disse harmoniserede produktstandarder er trådt i kraft 1. marts 2002 og skal anvendes indenfor et år fra denne dato. Der er desuden sket ændring af beregningen af U-værdien i relation til bl.a. varmeledningsevnen for andre byggematerialer, ventilerede og uventilerede hulrum, luftspalter i isoleringslaget og korrektionen for bindere for at bringe DS 418 i overensstemmelse med den tilsvarende europæiske standard.

Som nævnt er det tilstræbt at følge de nye regler i denne rapport, men da langt de fleste materialer ikke på nuværende tidspunkt har oplysninger om deres deklarerede varmeledningsevne, bruges traditionelle værdier for den praktiske varmeledningsevne. Dette betyder at der for det konkrete hus er regnet med lidt for høje værdier for isoleringsmaterialer og lidt for lave værdier for betonen i fundament og terrændæk.

Der foretages beregning vha. det detaljerede beregningsprogram HEAT3 i forbindelse med loft-/tagkonstruktion. Ved beregning af vinduer og døre er anvendt beregningsprogrammet THERM.

2.3.1 Terrændæk

I huset anvendes gulvvarme. I henhold til DS418 skal materialelag og overgangsisolanser over varmeafgifveren, svarende til gulvvarmeslangerne i betonlaget, ikke regnes med i U-værdien. Gulvvar-

meslangerne er placeret i den nederste del af betonlaget, og som en forenkling ses der derfor bort fra betonlaget. U-værdien er beregnet i Tabel 2.

Tabel 2. U-værdi for terrændæk.

Terrændæk med gulvvarme	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Isolans for jord			1,50
Isolering, EPS	0,250	0,039	6,41
Singels	0,075	0,700	0,11
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			0,125
Korrektion for luftspalter (Anneks A: Niveau 0: Isolering i to lag)			0,000
U-værdi			0,125

2.3.2 Ydervæg

Ifølge DS418 skal U-værdien for den aktuelle ydervæg bestemmes af følgende bidrag:

- Fladetab: Effekten af de 1-dimensionale varmestrømme ved den isolerede hulmur og vinduestilslutninger.
- Linietab: De 2-dimensionale effekter af spring i isoleringstykkelsen ved vinduestilslutninger.
- Punkttab: Effekten af murbindere.

Murbindernes betydning for varmetabet er meget begrænset når der anvendes bindere i rustfrit stål, hvorfor der ses bort fra deres bidrag.

I det følgende findes U-værdien for et snit svarende til den isolerede hulmur (basiskonstruktionen). De resterende bidrag suppleret med linietabet i samlingen mellem ydervæg og vinduer/døre indgår i L-værdien (det udvidede linietab) for vinduestilslutningerne (se afsnit 2.4). U-værdien er beregnet i Tabel 3.

Tabel 3. U-værdi for ydervæg.

Ydervæg, basiskonstruktion	s [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Overgangsisolans			0,17
Bagmur af porebeton	0,100	0,190	0,53
Isolering, mineraluld	0,200	0,039	5,13
Formur af tegl	0,110	0,730	0,15
Ukorrigeret varmetabskoefficient, U'			0,167
Korrektion for luftspalter (Anneks A: Niveau 0: Isolering fastklemmt mod bagmur)			0,000
U-værdi			0,167

2.3.3 Loft-/tagkonstruktion

Loft- og tagkonstruktionen beregnes vha. af det detaljerede beregningsprogram HEAT3. Ved modelleringen er foretaget følgende simplificeringer:

- Det ventilerede tagrum inkl. tagdækning har en isolans på 0,30 m²K/W (jf. DS418, tabel 6.5).
- Der ses bort fra spærfagenes gittertænger.
- Der ses bort fra delvise gennembrydninger af loftet over indervægge.

Der opbygges en 3-dimensional model af et typisk udsnit af loftkonstruktionen, svarende til at der medtages 0,6 m af loftkonstruktionen på tværs af huset (svarende til centerafstanden for forskallingen) og 1,2 m af loftkonstruktionen på langs af huset (svarende til centerafstanden for spærene). Tagdækningen inkl. det ventilerede loftrum modelleres i form af en forhøjet overgangsisolans.

U-værdien kan på denne baggrund fastlægges til:

Ukorrigeret varmetabskoefficient, U' (beregnet i Heat3)	0,093
Korrektion for luftspalter (Anneks A: Niveau 0: Isolering i to lag)	0,000
U-værdi	0,093

2.3.4 Vinduer og døre

Der er foretaget detaljerede beregninger af de forskellige snit der forekommer i de enkelte vinduer- og døres ramme-karm konstruktion. De forskellige vindues- og dørtypen er vist i bilag 10 og i bilag 11 er vist et typisk snit i ramme-karm konstruktionen. Resultatet af beregninger af et bestemt snit er en U-værdi for ramme-karm (U_f) og en linietafsværdi for rudekanten (Ψ_g). På baggrund af disse beregninger er der beregnet en gennemsnitlig U_f - og Ψ_g - værdi for hvert vindue/dør, hvorefter en samlet U-værdi har kunnet bestemmes. Beregningerne er foretaget med programmet THERM og udfra metoder beskrevet i Vindueskompendium 3 [10] omhandlende detaljerede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata. Resultatet af beregningerne fremgår af nedenstående Tabel 4. Arealer af rude og ramme-karm samt længde af rudekant fremgår af Tabel 1.

Den samlede U-værdi beregnes på følgende måde:

$$U = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + \Psi_g \cdot l_g}{A_g + A_f}$$

I kolonnen ”g total” længst til højre er angivet hvor mange procent af den solstråling der rammer vinduet som transmitteres ind i rummet. Jo større værdien er, desto mere solindfald.

Tabel 4. Beregnede varmetekniske data for vinduer og døre.

Vindues-/dørtype	Bredde [m]	Højde [m]	U_g [W/m ² K]	U_f [W/m ² K]	Ψ_g [W/mK]	U [W/m ² K]	g total [%]
Vindue A21.00	1,488	1,188	1,17	1,37	0,047	1,41	41
Vindue A21.00	0,588	1,188	1,17	1,36	0,039	1,43	31
Vinduesparti A12.00	0,948	2,118	1,17	1,44	0,043	1,40	43
Dør A32.12	0,948	2,118	1,17	1,59	0,042	1,51	30
Dør A31.00	0,948	2,118	1,17	1,58	0,043	1,49	33

2.4 Beregning af samlingsdetaljer, Ψ -værdier og L-værdier

Beregninger af samlingsdetaljer foretages vha. det detaljerede beregningsprogram HEAT2. I hvert af de efterfølgende afsnit er der givet en kortfattet gennemgang af hvordan beregningerne er gennemført (forudsætninger, randbetingelser osv.)

2.4.1 Terrændæk/ydervæg (kuldebro ved fundament)

I huset findes to typiske snit i fundamentet. Det ene er ved døre og høje vinduespartier og det andet er ved ydervæg. Sidstnævnte udgør langt hovedparten af fundamentets længde. Beregning af varmetabet foretages ved at opbygge en model efter retningslinierne givet i anneks D til DS418. I Tabel 5 er angivet mellemresultaterne for beregningen af fundament ved ydervæg.

Tabel 5. Resultater. Linietabskoefficient for fundament ved ydervæg. Opvarmningsperioden er defineret som september til maj.

Måned	T_{ude} [°C]	T_{ref} [°C]	$\Phi_{2-D, tot}$ [W/m]	$\Phi_{1-D, væg}$ [W/m]	$\Phi_{1-D, terr.}$ [W/m]	$\Psi_{fund} \cdot T$ [W/m]
-						
Januar	-0,21	11,41	12,44	5,09	5,17	2,19
Februar	-0,21	10,91	12,54	5,09	5,17	2,28
Marts	1,99	10,49	11,81	4,53	5,17	2,10
April	5,80	10,26	10,45	3,57	5,17	1,71
Maj	10,20	10,29	8,83	2,47	5,17	1,19
Juni	14,01	10,57	7,38	1,51	5,17	0,70
Juli	16,21	11,02	6,49	0,95	5,17	0,36
August	16,21	11,52	6,39	0,95	5,17	0,27
September	14,01	11,94	7,12	1,51	5,17	0,45
Oktober	10,20	12,17	8,48	2,47	5,17	0,84
November	5,80	12,14	10,10	3,57	5,17	1,36
December	1,99	11,86	11,55	4,53	5,17	1,85
Middel for opv. per.	5,54	11,27	10,37	3,65	5,17	1,55

T_{ude} svarer til lufttemperaturen ude.

T_{ref} svarer til temperaturen i referencepunktet. Referencepunktet er beliggende umiddelbart under det kapillarbrydende lag, 4 m fra den indvendige side af ydervæggen. T_{ref} aflæses direkte af den 2-dimensionale beregning.

$\Phi_{2-D, tot}$ svarer til det samlede varmetab gennem samlingsdetaljen (dvs. 1,5 m ydervæg og 4,0 m terrændæk) i W/m. $\Phi_{2-D, tot}$ aflæses direkte af den detaljerede 2-dimensionale beregning.

$\Phi_{1-D, væg}$ svarer til det rene 1-dimensionale varmetab gennem ydervæggen. Varmetabet bestemmes ved at fastlægge ydervæggens U-værdi (0,168 W/m²K), og gange denne med højden af væggen (1,5 m) og temperaturforskellen mellem inde og ude for hver enkelt måned.

$\Phi_{1-D, terr}$ svarer til det rene 1-dimensionale varmetab gennem terrændækket (4,0 m). Varmetabet bestemmes ved at fastlægge terrændækkets U-værdi uden at medtage jordisolansen (0,148 W/m²K), og gange denne værdi med bredden af terrændækket (4,0 m) og den gennemsnitlige temperaturforskel mellem indeluft og referencepunktet. I denne forbindelse tages temperaturen i referencepunktet som middelværdien for opvarmningsperioden, og derfor vil dette varmetab være konstant over året.

$\Psi_{\text{fund}} \cdot T$ fastlægges som forskellen på det 2-dimensionale og 1-dimensionale varmetab. Fundamentsløsningens linietafskoefficient kan herefter bestemmes ved at fastlægge middelværdien for $\Psi_f \cdot T$ for opvarmningsperioden (september – maj) og dividere denne størrelse med den gennemsnitlige temperaturdifferens mellem inde og ude for opvarmningsperioden ($20 - 5,54 = 14,46$ °C).

Linietafskoefficienten for fundament ved ydervæg: $\Psi_{\text{fund}} = 0,107$ W/mK

Linietafskoefficienten for fundament ved døre og høje glaspartier beregnes på tilsvarende vis:
 $\Psi_{\text{fund, åbninger}} = 0,114$ W/mK

2.4.2 Vinduestilslutninger (kuldebro ved fals)

Kuldebroeffekter ved vinduestilslutninger angives typisk ved Ψ -værdier, som alene udtrykker effekten af de 2-dimensionale varmestrømme. I dette projekt opereres med L-værdier (udvidede linietafskoefficienter), idet de konstruktive kuldebroer i samlingen/ydervæggen medtages. L-værdien for f.eks. kuldebro ved sidefals inderholder derfor tre bidrag: Effekt af spring i isoleringstykkelser ved falselement, ekstra varmetab pga. den reducerede isoleringstykkelser i falsen samt effekten af samlingen mellem væg og vindue.

Beregningsteknisk findes denne L-værdi ved at regne på den fulde detalje, idet der modelleres 200 mm af ruden og 500 mm af ydervæggen, og herudfra fastlægges varmestrømmen. Dernæst foretages en beregning af varmestrømmen gennem væggen basiskonstruktion (idet den erstatter falselement og fuge) samt varmestrømmen gennem vinduet. Ved at tage differencen mellem resultatet af den fulde beregning og varmestrømmen gennem væg og vindue fremkommer L-værdien.

Udvidet linietafskoefficient for underfals: $L_{\text{underfals}} = 0,060$ W/mK
Udvidet linietafskoefficient for sidefals: $L_{\text{sidefals}} = 0,039$ W/mK

2.4.3 Falselement under vinduer (kuldebro ved falselement)

Beregningsteknisk findes L-værdien for falselement under vinduer ved at regne på den fulde detalje, idet falselementet modelleres og 500 mm af ydervæggen på begge sider af elementet, og herudfra fastlægges varmestrømmen. Dernæst foretages en beregning af varmestrømmen gennem ydervæggen basiskonstruktion. Ved at tage differencen mellem resultatet af den fulde beregning og varmestrømmen gennem væggen fremkommer den samlede kuldebroeffekt af det (dobbelte) spring i isoleringstykkelser som falselementet giver anledning til.

Udvidet linietafskoefficient for falselement: $L_{\text{falselement}} = 0,016$ W/mK

2.4.4 Loft-/tagkonstruktion / vinduer/døre (kuldebro ved overfals og tagfod)

Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af samlingen mellem vinduer, overfals og loft-/tagkonstruktion. Det typiske udsnit svarer til at der i modellen medtages 200 mm af ruden og 1,5 m af loft-/tagkonstruktionen målt fra indersiden af ydervæggen. Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og varmestrømmen fastlægges. Dernæst foretages en beregning af varmestrømmen gennem væggen basiskonstruktion (idet den erstatter falselement og fuge) og varmestrømmen gennem loft-/tagkonstruktionens basiskonstruktion samt varmestrømmen gennem vinduet. Ved at tage differencen mellem resultatet af den fulde beregning og varmestrømme gennem væg, loft/tag og vindue fremkommer L-værdien. Den beregnede værdi gælder for overfalsdetaljen ved brede vinduer og høje glaspartier (hovedparten af overfalsen), men bruges også for detaljen ved smalle vinduer og døre, hvor der er brugt lidt andre bjælker/falselementer. Betydningen af den nævnte simplificering er dog minimal.

Udvidet linietabskoefficient for tag-vinduer/døre: $L_{\text{tagfod}} = 0,072 \text{ W/mK}$

2.4.5 Loft-/tagkonstruktion/ydervæg (kuldebro ved tagfod)

Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af samlingen mellem ydervæg og loft-/tagkonstruktion. Det typiske udsnit svarer til at der af ydervæggen modelleres 0,5 m under loftets underside og af loft-/tagkonstruktionen modelleres (vandret) 1,5 m fra indersiden af ydervæggen. Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og varmestrømmen fastlægges. Dernæst foretages en beregning af varmestrømmen gennem væggen basiskonstruktion og varmestrømmen gennem loft-/tagkonstruktionens basiskonstruktion. Ved at tage differensen mellem resultatet af den fulde beregning og varmestrømmen gennem væg og tag fremkommer L-værdien.

Udvidet linietabskoefficient for tagfod: $L_{\text{tagfod}} = 0,031 \text{ W/mK}$

2.4.6 Ydervæg/ydervæg (kuldebro ved ydervægshjørne)

Der opbygges en 2-dimensional model af et typisk udsnit af samlingen ved ydervægshjørnet. Af ydervæggen modelleres 0,5 m op til hjørnet (indvendige mål).

Først gennemføres en beregning af den fulde detalje og varmestrømmen fastlægges. Dernæst foretages en beregning af en tilsvarende model, hvor der indlægges to adiabatisk planer, så hele hjørnet i samlingen bortskæres fra beregningen. Herved bortskæres kuldebroeffekterne som opstår pga. geometrien i samlingen. Ved at tage differensen mellem resultaterne af de to beregninger fremkommer linietabet for samlingen.

Linietabskoefficienten for ydervægshjørne: $\Psi_{\text{hjørne}} = 0,040 \text{ W/mK}$

2.5 Sammenfatning af resultater

På baggrund af varmetransmissionskoefficienterne fastlagt i de foregående afsnit, kan der nu gennemføres en beregning af husets samlede varmetabskoefficient, og samtidig kan det dimensionerende varmetab bestemmes. I Tabel 6 er den samlede varmetabskoefficient for huset beregnet og i Tabel 7 er det dimensionerende varmetab beregnet. I sammenfatningen af resultaterne i Tabel 6 er størrelsen af vinduer og døre angivet som murhulsmål, da fugen mellem ydervæg og vindue/dør iht. DS418 kan tillægges samme U-værdi som vinduet/døren. Der er regnet med en fugebredde på 12 mm.

Tabel 6. Sammenfatning af resultater af varmetabsberegninger.

Konstruktioner	U [W/m²K]	A [m²]	U·A [W/K]	
Terrændæk	0,13	115,9	14,5	
Ydervæg	0,17	78,2	13,1	
Loft/tag	0,09	114,4	10,6	
Vindue A21.00 (1,512x1,212 m, 6 stk.)	1,41	11,0	15,5	
Vindue A21.00 (0,612x1,212 m, 2 stk.)	1,43	1,5	2,1	
Vinduesparti A12.00 (0,948x2,118 m, 5 stk.)	1,40	10,0	14,0	
Dør A32.12 (0,972x2,142 m, 2 stk.)	1,51	4,2	6,3	
Dør A31.00 (0,948x2,118 m, 2 stk.)	1,49	4,0	6,0	
ΣU·A =			82,1	
Samlinger	Ψ [W/mK]	L [W/mK]	l [m]	Ψ/L·l [W/K]
Fundament ved mur	0,107		37,4	4,0
Fundament ved døre/høje vinduespartier	0,114		8,6	1,0
Sidefals		0,039	40,7	1,6
Underfals (rulleskifte)		0,060	10,3	0,6
Falselement under vinduer (16 stk.)		0,016	14,9	0,2
Tag-vinduer/døre		0,072	18,8	1,4
Tag-ydervæg		0,031	27,2	0,8
Ydervæg-ydervæg (4 hjørner)	0,040		9,6	0,4
Σ(Ψ·l + L·l) =				10,0
Σ(U·A + Ψ·l + L·l) =				92,1

Huset samlede varmetabskoefficient er altså 92,1 W/K. Opgjort pr. m² opvarmet etageareal fås 0,68 W/m²K. Den sidstnævnte værdi er relevant hvis huse af forskellig størrelse skal sammenlignes.

Tabel 7. Dimensionerende varmetab (rumtemperatur på 20°C overalt).

Konstruktioner	U·A [W/K]	ΔT [°C]	Φ [W]
Terrændæk (gulvvarme)	14,5	30-10	290
Ydervæg	13,1	20-(-12)	418
Loft-/tagkonstruktion	10,6	20-(-12)	340
Vindue A21.00 (1,512x1,212 m, 6 stk.)	15,5	20-(-12)	497
Vindue A21.00 (0,612x1,212 m, 2 stk.)	2,1	20-(-12)	68
Vinduesparti A12.00 (0,948x2,118 m, 5 stk.)	14,0	20-(-12)	449
Dør A32.12 (0,972x2,142 m, 2 stk.)	6,3	20-(-12)	200
Dør A31.00 (0,948x2,118 m, 2 stk.)	6,0	20-(-12)	191
ΣKonstruktioner =			2454
Samlinger	Ψ/L·l [W/K]	ΔT [°C]	Φ [W]
Fundament	4,0	30-(-12)	168
Fundament ved døre/høje vinduespartier	1,0	30-(-12)	41
Sidefals	1,6	20-(-12)	51
Underfals (rulleskifte)	0,6	20-(-12)	20
Falselement under vinduer (16 stk.)	0,2	20-(-12)	8
Tag-vinduer/døre	1,4	20-(-12)	43
Tag-ydervæg	0,8	20-(-12)	27
Ydervæg-ydervæg (4 hjørner)	0,4	20-(-12)	12
ΣSamlinger =			370
ΣKonstruktioner + Samlinger =			2824
Ventilationstab	0,34 · (0,82 h ⁻¹ · 10 % + 0,10 h ⁻¹) · 263 m ³ · (20-(-12)) °C =		521
Dimensionerende varmetab			3345

I Tabel 7 er ventilationstabet beregnet ud fra den sædvanlige tilnærmede formel: $\Phi_v = 0,34 \cdot n \cdot V \cdot (\theta_i - \theta_e)$. Det er forudsat et mekaniske luftskifte på 60 l/s (se afsnit 3.1.7) svarende til et luftskifte på $0,82 \text{ h}^{-1}$, en varmegenvindingsgrad på 90 % samt et luftskiftet pga. utætheder i klimaskærmen på $0,1 \text{ h}^{-1}$ (se afsnit 3.1.3).

Det fremgår af Tabel 7 at det dimensionerende varmetab er ca. 3,3 kW. Desuden ses at ventilationstabet udgør en forholdsvis lille andel, idet ventilationsanlæggets varmegenvinder har en effektivitet på ca. 90 %. Det fremgår også af tabellen at det dimensionerende transmissionstab udgør 2824 W, mens samlingernes andel heraf er 370 W.

Kuldebroandelen af det dimensionerende transmissionstab er større end samlingernes andel, da kuldebroerne i vinduer (rudekant) ikke er medtaget heri. Kuldebrobidraget fra rudekanten eller nærmere betegnet termorudens afstandsprofil (udtrykt ved Ψ_g) dækker den samlede to-dimensionale varmestrøm igennem afstandsprofilet og samlingen mellem rude og karm, ramme eller sprosse. Der ses bort fra den forholdsvis lille kuldebro som spærfoden i loftkonstruktionen giver anledning til.

Den samlede kuldebroandel kan herefter bestemmes, se Tabel 8.

Tabel 8. Kuldebroandel (samlinger inkl. effekt af rudekant). Rudekant-andelen for hver vindues-/dørtype er beregnet som $\Psi_g \cdot l_g \cdot \text{antal vinduer/døre}$.

Kuldebroandel	W/K	ΔT [°C]	Φ [W]
Fundament	4,0	30-(-12)	168
Fundament ved døre/høje vinduespartier	1,0	30-(-12)	41
Sidefals	1,6	20-(-12)	51
Underfals (rulleskifte)	0,6	20-(-12)	20
Falselement under vinduer (16 stk.)	0,2	20-(-12)	8
Tag-vinduer/døre	1,4	20-(-12)	43
Tag-ydervæg	0,8	20-(-12)	27
Ydervæg-ydervæg (4 hjørner)	0,4	20-(-12)	12
Vindue A21.00 (1,512x1,212 m, 6 stk.)	1,8	20-(-12)	59
Vindue A21.00 (0,612x1,212 m, 2 stk.)	0,2	20-(-12)	7
Vinduesparti A12.00 (0,948x2,118 m, 5 stk.)	1,4	20-(-12)	45
Dør A32.12 (0,972x2,142 m, 2 stk.)	0,5	20-(-12)	15
Dør A31.00 (0,948x2,118 m, 2 stk.)	0,5	20-(-12)	16
Total			513

Det samlede dimensionerende transmissionstab er som nævnt 2824 W, mens kuldebroerne udgør 513 W heraf, svarende til ca. 18 %. Dette er en relativt lille kuldebroandel, hvilket især skyldes den ”varme rudekant” og det velisolerede fundamentssokkel.

3 BEREGNING AF ENERGIFORBRUG OG INDEKLIMA

I dette kapitel gennemgås baggrunden for og resultaterne af de detaljerede simuleringer af det forventede energiforbrug og indeklima. Der foretages en simulering af huset som helhed, hvor effekten af effektiv varmekapacitet, solindfald samt detaljerede beskrivelser af de anvendte systemer indgår.

3.1 Beskrivelse af bygningsmodel

Beregningsmodellen opbygges i BSIM2000 [6].

3.1.1 Zoner

Huset opdeles i 10 forskellige zoner, svarende til rumopdelingen. I hver af de enkelte zoner defineres de omkringliggende konstruktioner svarende til ydervæg, indervæg, terrændæk, loft-/tagkonstruktion, vinduer og døre. Alle rum forudsættes opvarmet til 20 °C, svarende til den normale dimensionerende indetemperatur i boliger.

3.1.2 Kuldebroer

De beregnede kuldebroeffekter, f.eks. ved fundament, vinduestilslutninger og tagfod, beskriver det ekstra varmetab som opstår i samlingerne set i forhold til en ideel samling, hvor kun U-værdien for vindue, væg, terrændæk og loft/tag indgår. Disse kuldebroer defineres i BSIM2000 i form af en forhøjelse af varmeledningsevnen af isoleringen i ydervæggen. Effekten af vinduernes rudekant kan medtages direkte ved definering af vinduer i BSIM2000.

Varmetabet via fundamentet forhøjes med en faktor som tilsvarende forholdet mellem de aktuelle temperaturforhold og de modellerede temperaturforhold (nærmere forklaring i afsnit 3.1.6).

3.1.3 Infiltration/exfiltration

Huset antages at være ”særligt tæt”, hvorfor der iht. DS418 kan regnes med et luftskifte pga. utætheder i klimaskærmen på 0,1 h⁻¹ for samtlige zoner.

3.1.4 Internt varmetilskud

Det gennemsnitlige interne varmetilskud fra personer, belysning og el-udstyr fastsættes med udgangspunkt i SBI-anvisning 184 [11] til 5 W/m² opvarmet etageareal i middel for hele den opvarmede del af huset og hele døgnet i fyringssæsonen. Dette er en simpel og rimelig måde at medtage den interne varmelast. En mulighed er også at specificere et normalt brugsmønster for huset, men indvirkningen på opvarmningsbehovet skønnes at være minimal. Ved en ikke-jævn intern varmelast vil der dog kunne forventes en mærkbar indvirkning på indetemperaturen, men da der normalt ikke opholder sig personer i et beboelseshus i de kritiske timer midt på dagen, vil den jævnt fordelte interne varmelast være på den sikre side.

3.1.5 Udluftning

I huset antages det at der foretages udluftning (f.eks. ved at åbne vinduer) ved temperaturer over 24 °C. I simuleringen modelleres dette så der så vidt muligt ikke forekommer temperaturer over 24 °C nogen steder i huset, svarende til at der i tilfælde af en for høj temperatur igangsættes en udluftning af det pågældende rum med et luftskifte på 5 h⁻¹.

3.1.6 Opvarmning

I samtlige rum defineres opvarmning svarende til en samlet maksimal effekt på ca. 3,3 kW (jf. beregning af dimensionerende varmetab). Programmet BSIM2000 giver endnu ikke mulighed for at definere gulvvarme på en fyldestgørende måde, og i stedet for defineres opvarmningen som radiatoropvarmning.

Gulvvarmeslangerne vil naturligvis have en højere temperatur end rumluften, og derfor defineres zonen under huset (den fiktive zone ”jord”) som havende en temperatur på 0 °C i stedet for de normalt anvendte 10 °C. Den reducerede jordtemperatur svarer altså til at der haves en temperaturdifference mellem oversiden af betondækket og jorden på 20 °C, som igen svarer til den dimensionerende gulvvarmeslangetemperatur på 30 °C minus jordtemperaturen på 10 °C.

Kuldebroen i forbindelse med fundamentet vil ligeledes skulle fastlægges på baggrund af en temperaturforskel på 30 °C minus udetemperaturen. For at medtage dette forhold i beregningerne øges kuldebroens størrelse med en faktor som tilsvarende forholdet mellem de aktuelle temperaturforhold og de modellerede temperaturforhold.

3.1.7 Ventilation

Ventilationen i huset foregår med mekanisk ventilation med varmegenvinding. I overensstemmelse med BR-S 98 [12] fjernes indeluft svarende til 20 l/s fra køkken, 15 l/s fra baderum og 10 l/s fra bryggers/entre. I de øvrige rum tilføres der udeluft. På baggrund af anvisningen opstilles der en luftbalance for huset, og herudfra fastlægges indblæsningen for de øvrige rum. Der er regnet med en temperaturvirkningsgrad for varmeveksleren på 90 % (jf. afsnit 2.6).

Det forudsættes at ventilationsanlægget er i drift hele fyringssæsonen og at reguleringen af anlægget er tilpasset så der i denne periode til enhver tid genvindes varme svarende til de 90 % (anlægget prioriteres altid før opvarmningsanlægget). I sommerperioden, hvor der stort set ikke er et opvarmningsbehov, forudsættes at varmegenvinderen by-passes (ingen varmegenvinding), således at der blæses ind med samme temperatur som udeluften.

3.2 Simulering

Simuleringen med bygningsmodellen foretages på baggrund af programmets rutiner og der anvendes i denne forbindelse referenceåret Design Reference Year (Danmark.DRY) [13] 1990 som udvendigt klima. Data i Danmark.DRY er identiske med data i Cph.DRY, blot udvidet med information om skydækket om natten og tilføjet vindretningen i alle timer. Førstnævnte informationer er relevante, idet der er regnet med langbølget strålingsudveksling til himlen. Som model for beregning af solindfald er anvendt Perez [14].

Resultaterne som præsenteres i det efterfølgende afsnit 3.3 er værdier for fyringssæsonen, svarende til perioden uge 1 til uge 18 og uge 38 til uge 52, dvs. fra midt i september måned til begyndelsen af maj måned. Der præsenteres dog også resultater fra sommerperioden i forbindelse med analyser af indeklimaet.

3.2.1 Grundmodel

Grundmodellen er en model af huset, som beskrevet ovenfor. Der er tale om en model med vinduer og døre hvor U-værdien ligger på 1,4-1,5 W/m²K, hvor infiltrationen er 0,1 h⁻¹, hvor det interne varmetilskud er 5 W pr. m² opvarmet etageareal og hvor ventilationsmængden er sat til 60 l/s. Det samlede luftskifte er ca. 0,92 h⁻¹.

Energigrammen for huset ifølge gældende regler er følgende:

$$Q_r = \frac{280 \text{ MJ} / \text{m}^2}{3,6 \text{ MJ} / \text{kWh}} \cdot 135 \text{ m}^2 = 10500 \text{ kWh}$$

Kravet var tidligere 250 MJ pr. m², men efter man i forbindelse med revisionen af DS418 har ændret reglerne for opgørelse af transmissionsarealer og indregning af kuldebroer, så får man i princippet et 10-15 % større varmetab end det man beregnede efter de gamle regler. Der er derfor indført en lempelse af energirammekravet (pr. 1/2 –2001, jf. tillæg 1 til BRS98).

Et af projektets formål er at huset skal have et opvarmningsbehov svarende til mindst en reduktion på 33 % ift. energirammen. Målet er derfor:

$$Q_{67\%} = 10500 \cdot 67 \% = 7035 \text{ kWh}$$

3.2.2 Parametervariationer

Da det beregnede opvarmningsbehov er forholdsvis lavt vil dette være meget afhængigt af selv små afvigelser i forudsætningerne. Derfor er der gennemført variationer svarende til at der foretages ændringer i størrelsen af det interne varmetilskud, effektiviteten af varmegenvindingsenheden, størrelsen af infiltrationen og gulvvarmeslangernes temperatur. I Tabel 9 er vist en oversigt og nedenfor en kort forklaring.

Tabel 9. Beskrivelse af parametervariationer.

Modelnavn	Internt Varmetilskud [W/m ²]	VGW effektivitet [%]	Infiltration [h ⁻¹]	Gulvvarme- temperatur [°C]
Grundmodel	5	90	0,10	30
IV 3	3	90	0,10	30
VGW 80	5	80	0,10	30
INF 005	5	90	0,05	30
GV 25	5	90	0,10	25

IV 3: I denne model er det interne varmetilskud reduceret fra 5 W/m² til 3 W/m². En sådan reduktion er realistisk, hvis elforbruget til belysning og eludstyr reduceres gennem valg af energirigtige apparater.

VGW 80: Dårlig vedligeholdelse i form af f.eks. sjældne skift og rengøring af filtre, utætheder i kanalsystem/aggregat mv. kan resultere i en lavere effektivitet. Derfor simuleres en model hvor varmegenvindingens effektivitet er sat til 80 % i stedet for 90 %.

INF 005: I denne model er infiltrationen af udeluft gennem klimaskærmen reduceret fra de forudsatte 0,10 h⁻¹ til 0,05 h⁻¹. Ud fra denne model er det muligt at vurdere hvor stor en betydning lufttætheden af klimaskærmskonstruktionerne har for varmebehovet.

GV 25: I denne model forudsættes gulvvarmeslangernes gennemsnitlige temperatur i fyringssæsonen at være 25 °C frem for de oprindelige 30 °C.

3.2.3 Nye energibestemmelser: Bruttoenergiramme

I september 2001 udsendte Statens Byggeforskningsinstitut (By og Byg) et oplæg til energibestemmelser i Bygningsreglement år 2005 (og skitser til bestemmelser i år 2012). Oplægget går kort fortalt ud på, at der ikke kun skal fokuseres på bygningens varmeisolering, men også på energieffektiv bygningsudformning og installationer samt størst mulig udnyttelse af solenergi. Der er derfor lagt op til at energirammen skal beregnes som energibehovet til opvarmning, ventilation og køling, som indeholder varmebehovet til rumopvarmning og varmt brugsvand, energitabet og el-behovet i kedelanlæg, el-behovet til pumper i varme- og varmtvandsanlæg, el-behovet til ventilatorer samt el-behovet til køling. Energibehovet bestemmes som summen af varmebehovene plus 3 gange summen af el-behovene. Denne faktor 3 svarer nogenlunde til prisforskel og forskel på primær energiforbrug og miljøbelastning ved henholdsvis varme- og elforbrug. Varme- og el-produktion fra sol-energianlæg (solvarme- og solcelleanlæg) i bygningen kan modregnes.

Det vil på denne baggrund være relevant at undersøge om huset opfylder den kommende nye bruttoenergiramme, som der altså er lagt op til skal gælde fra år 2005.

3.3 Resultater

I dette afsnit gennemgås resultaterne af de detaljerede simuleringer af det forventede opvarmningsbehov og indetemperaturforhold. Desuden foretages beregning af huset samlede energiforbrug på baggrund af metode i By og Byg's oplæg til nye energibestemmelser i BR2005.

3.3.1 Grundmodel

Varmebalancen for grundmodellen er vist i Tabel 10. I bilag 12 er bidragene til varmebalancen anført for hver måned i fyringssæsonen og desuden er månedsmiddel-temperaturen inde og ude anført.

Tabel 10. Resultater for grundmodel.

Varmebalance		KWh pr. år	
Q Opv	Energiforbrug til rumopvarmning	4932	
Q Inf	Varmetab ved infiltration	-760	
Q Udl	Varmetab ved udluftning (>24 °C)	-103	
Q Sol	Energi tilført ved solindfald	1691	
Q Intern	Varme tilført fra personer & udstyr	3747	
Q Transm	Transmissionstab via klimaskærmen	-8812	Heraf vinduer: -4033
Q Mix	Ventilationstab til naborum	-29	
Q Vent	Ventilationstab via ventilationsanlæg	-666	

Med baggrund i forudsætningerne vedrørende lufttæthed, udluftning, internt varmetilskud osv., er det forventede opvarmningsbehov bestemt til 4932 kWh/år, svarende til 47 % af den nugældende energiramme. Målsætningen om et opvarmningsbehov på 67 % af energirammen er derfor til fulde opfyldt.

Af Tabel 10 fremgår det også at transmissionstabet via vinduer og døre udgør 4033 kWh, svarende til 46 % af det totale transmissionstab.

3.3.2 Parametervariationer.

Resultater af parametervariationerne er vist i Tabel 11.

Tabel 11. Parametervariationer. Varmebalance for de enkelte modeller. Angivet i kWh pr. år.

	Grundmodel	IV 3	VG 80	INF 005	GV 25
Q Opv	4932	6301	5569	4581	4469
Q Inf	-760	-755	-758	-380	-762
Q Udl	-103	-55	-88	-115	-124
Q Sol	1691	1691	1691	1691	1691
Q Intern	3747	2249	3747	3747	3747
Q Transm	-8812	-8760	-8795	-8825	-8319
Q Mix	-29	-9	-41	-32	-35
Q Vent	-666	-662	-1326	-667	-667

Modellen IV 3 blev simuleret for at undersøge hvilken betydning det ville have for opvarmningsbehovet, hvis det interne varmetilskud reduceredes fra 5 W/m² til 3 W/m². Dette har naturligvis en stor effekt, da det interne varmetilskud for grundmodellen faktisk er af samme størrelsesorden som opvarmningsbehovet. Varmebehovet øges med 1369 kWh svarende til ca. 28 %.

Modellen VG 80 viser at hvis VG'en har en lidt dårligere effektivitet (80 %) end forventet (90 %) vil dette resultere i en forøgelse af opvarmningsbehovet med ca. 600 kWh. Størrelsen af denne effekt er naturligvis ikke overraskende, idet der ved 90 % effektivitet genvindes knap 6000 kWh varme.

Modellen INF005 viser effekten af at varmetabet forårsaget af infiltration gennem utætheder i klimaskærmen reduceres fra et luftskifte på 0,10 h⁻¹ til 0,05 h⁻¹. Det ses, at der kan spares ca. 350 kWh. Det er erfaringer fra andre forsøgshusbyggerier, at infiltrationstabet kan reduceres til mellem 0,05 og 0,10 h⁻¹, hvis der udøves særlig omhu ved tætning af samlinger, gennembrydninger mv. Det er også erfaringen at denne gode tæthed kan opnås ved konsekvent planlægning og omhyggelig udførelse og reparation af uundgåelige huller. Det skulle ikke være nødvendigt at anvende dyr og kompliceret teknologi.

Modellen GV 25 viser at gulvvarmeslangernes temperatur ikke er helt uden betydning for det samlede opvarmningsbehov. Hvis den gennemsnitlige temperatur er 25 °C i stedet for 30 °C opnås en besparelse på 463 kWh. Besparelsen opnås ved et mindsket varmetab gennem terrændæk og fundament.

3.3.3 Energirammeberegning – Bygningsreglement 2005

Energirammen for boliger er i oplægget til nye energibestemmelser fastsat til 270 MJ/m² pr. år svarende til 10125 kWh pr. år for huset. Det betyder at husets samlede energibehov til opvarmning, varmt brugsvand, ventilation og køling pr. m² opvarmet etageareal højst må antage denne værdi.

I Tabel 12 er foretaget en beregning af bruttoenergirammen iht. ovennævnte oplæg. Forudsætningerne for beregninger er beskrevet i detaljer på side 25 og 26 i dette oplæg. Det skal påpeges at der er tale om et udkast til beregningsmetode.

I oplægget er der specifikt angivet krav til maksimalt elforbrug i ventilationsanlæg. Dette er 2,2 kJ/m³ (det nuværende er 3,2 kJ/m³) for anlæg med variabel luftydelse. Hvis anlægget skal levere

friskluft svarende til de 60 l/s (=216 m³/h), som bygningsreglementet foreskriver for det aktuelle hus, må effektoptaget ikke overstige 132 W.

I det aktuelle hus er der anvendt ventilatorer med DC-motorer, som har en væsentlig bedre virkningsgrad end traditionelle AC-motorer. Målinger på ventilationsanlægget, foretaget på Teknologisk Institut viser, at effektoptaget er ca. 84 W ved 216 m³/h, svarende til et årligt el-behov på ca. 735 kWh. Dette er væsentligt mindre end det maksimale effektoptag angivet i oplægget til BR2005.

Tabel 12. Beregning af bruttoenergiramme baseret på metoden i oplæg til nye energibestemmelser. Alle tal-angivelser er i kWh/år. Det skal bemærkes at metoden foreskriver at el-behov indgår med en faktor 3.

Varme- og el-behov	Energibehov	Energiramme-beregning	Bemærkninger/forudsætninger
Rumopvarmning	4932	4932	Husets opv.behov, se afsnit 3.3.1
Varmt brugsvand (VBV)	1875	1875	50 MJ/m ² /år svarende til 1875 kWh/år, hvilket svarer til 265 liter/m ² /år ved opvarmning fra 10 til 55 °C.
Varmetab fra VV-Beholder	633	253	60 % kommer huset til nytte
Varmetab fra VV-rør	0	0	Der regnes ikke med varmetab fra varmerør i den opv. del af bygn.
Varmetab fra VBV-rør	0	0	Ingen VBV cirkulation.
El-behov i varmeanlæg	111	333	Lille pumpe i konstant drift i fyringssæson.
El-behov i VBV-anlæg	0	0	Ingen VBV cirkulation.
El-behov i ventilationsanlæg	735	2205	Forbrug: 1,4 kJ/m ³ = 84 W, v. 60 l/s. Drifttid: Hele året.
El-behov køling	0	0	
I alt	-	9598	Energiramme: 10125

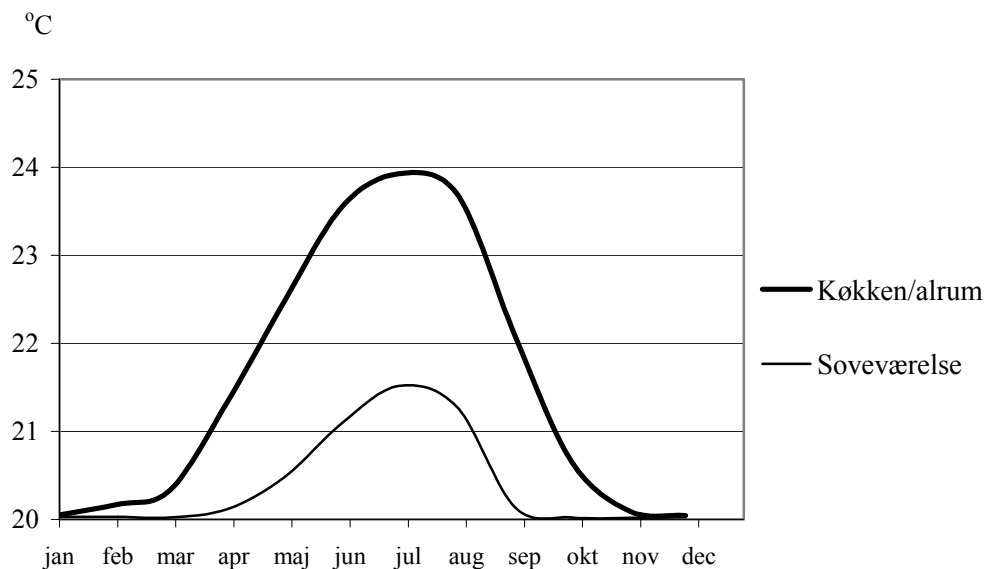
Det fremgår af Tabel 12 at huset opfylder energirammen iht. det nuværende oplæg til energibestemmelser i år 2005.

Hvis man for ventilationsanlægget regner med et maksimalt elforbrug svarende til det maksimalt tilladelige i oplæg til BR2005, der omtrent svarer til elforbrug for et typisk anlæg med AC-ventilatorer, kan beregnes en bruttoenergiforbrug på 10861 kWh. Dermed er energirammen ikke overholdt. Man kan umiddelbart synes at de foreslåede fremtidige krav er skrappe, når et meget vel-isoleret hus med ventilation med varmegenvinding (men ikke lavenergiventilatorer) ikke kan opfylde kravene. Dette er dog helt bevidst, idet man ønsker at motivere til at der anvendes energieffektive installationsløsninger, og at der fokuseres på størst mulig udnyttelse af solenergi (solvarme- og solcelleanlæg).

3.3.4 Indeklima

Der er foretaget simuleringer af de forventede temperaturforhold i huset for grundmodellen, og disse sammenholdes med specifikationer i norm vedrørende termisk indeklima. Det er valgt at betragte det mest kritiske rum og mindst kritiske rum, svarende til køkken/alrum og soveværelset.

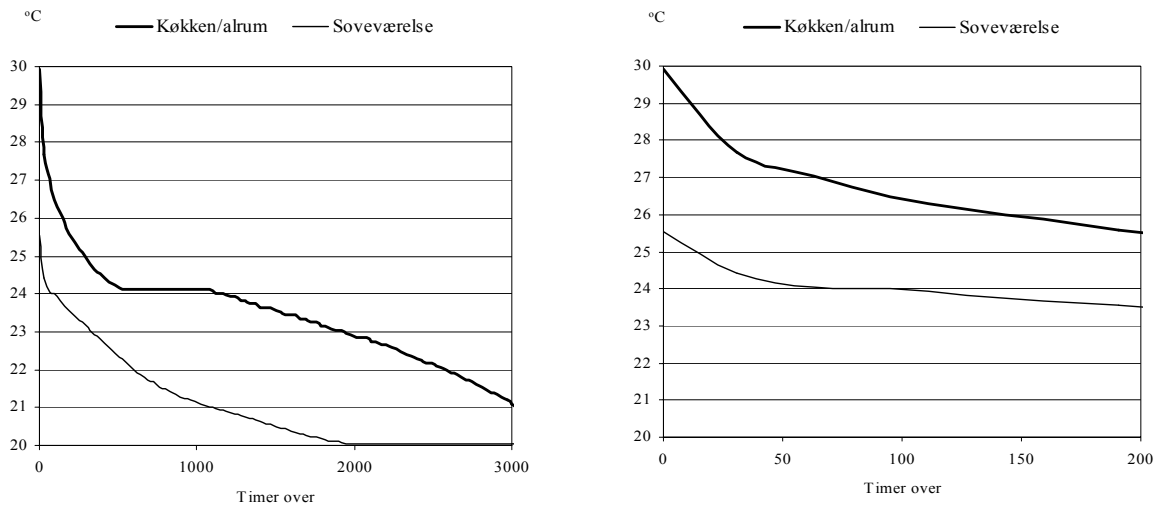
I Figur 4 er i første omgang vist den gennemsnitlige operative temperaturs variation i disse rum i løbet af et år. Det ses at temperaturen er væsentligt højere i det overvejende sydvendte køkken/alrum end i soveværelset, hvilket naturligvis primært skyldes et væsentligt større solindfald. Det lille knæk på kurven for stue/alrum skyldes forudsætningen vedrørende at "by-passe" varmegenvinderen i sommerperioden.



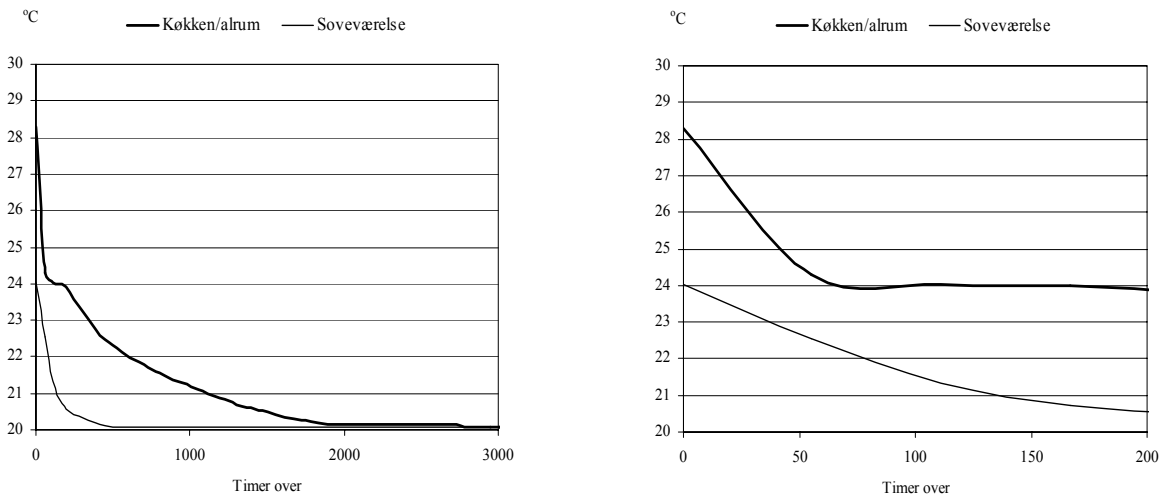
Figur 4. Månedsmiddeltemperaturen i Køkken/alrum og soveværelse i løbet af året.

Figur 4 fortæller ikke noget om hvor højt temperaturen når op og hvor længe. Derfor er der i Figur 5 vist to akkumulerede temperaturkurver, der for en given temperatur viser, hvor mange timer temperaturen overstiger denne i sommerperioden og fyringssæsonen. Det ses af figuren, at de høje temperaturer (over 24 °C) generelt forekommer i et relativt begrænset antal timer. I køkken/alrum overstiger temperaturen f.eks. 26 °C i ca. 170 timer og 27 °C i ca. 80 timer.

Sommerperioden, ventilation med by-pass (ingen VGV):



Fyringssæson, ventilation med VGV:



Figur 5. Viser hvor mange timer indetemperaturen overstiger en given temperatur i sommerperioden (uge 19-37) og fyringssæsonen (resterende uger). Kurverne til højre er et udsnit af kurverne til venstre. Et år har 8760 timer.

Hvis man skal vurdere om der er tale om fornuftige temperaturniveauer, kan man tage udgangspunkt i norm for specifikation af termisk indeklime (DS 474) [15]. Kravene til den operative temperatur for varme dage med let sommerbeklædning og stillesiddende aktivitet kan ifølge denne formuleres som følgende:

>26 °C i højst 100 timer i opholdstiden i løbet af et typisk år.

>27 °C i højst 25 timer.

Opholdstiden defineres som det tidsrum, udover ganske korte tidsrum, hvor mennesker opholder sig i rummet.

I øvrigt angiver normen at det for siddende personer med almindelig indendørsbeklædning kan forventes, at mindre end 10 % af en gruppe personer er utilfredse med det generelle termiske klima, hvis den operative temperatur i opholdszonen ligger mellem 20 og 24 °C. Under sommerforhold,

hvor det er normalt med lettere beklædning og hvor bygningen ikke har et opvarmningsbehov, kan en højere operativ temperatur accepteres, svarende til 23-26 °C. Den enkelte person kan naturligvis opnå større grad af tilfredshed ved at tilpasse sin beklædning hensigtsmæssigt.

Sammenligner man ovennævnte krav med de forventede temperaturforhold i køkken/alrum, ses at kravet til antal timer over 26 °C og 27 °C ikke er overholdt. Det er dog antaget at der opholder sig mennesker i stue/alrum i alle de timer hvor overtemperaturerne forekommer, hvilket i praksis ikke er tilfældet. Antages det at ingen opholder sig i rummet fra kl. 9 til kl.16, overskrides temperaturen 26 °C i kun ca. 95 timer, mens 27 °C overskrides i ca. 45 timer i opholdstiden. Med disse forudsætninger er komfortkravet vedrørende de 26 °C netop overholdt, mens der er næsten dobbelt så mange timer med temperaturer over 27 °C som krævet.

På baggrund af analyserne må det konkluderes at huset kun delvis opfylder komfortkravene. Grunden til at det ”går galt”, skyldes primært den relativt høje solenergitransmittans for ruden og det relativt store overvejende sydvestvendte vinduesareal i køkken/alrum samt et udhæng med forholdsvis lille skyggevirkning. Ovenstående beregninger er foretaget for helt uafskærmet vinduer/døre. Overtemperatur problemer vil naturligvis kunne reduceres ved anvendelse af en effektiv (udvendig) solafskærmning. Udluftning (åbning af vinduer i brugstiden) vil også kunne reducere overtemperaturer.

Et andet forhold der har betydning for antallet af overtemperaturer er de indvendige konstruktioners varmekapacitet (varmekapacitet defineres som produktet af densitet og specifik varmekapacitet). Huset er opført med indervægge af porebeton, som har en forholdsvis lille varmekapacitet. Forestilte man sig huset opført med indervægge (indvendige skillevægge) af beton, der har en 3 gange større varmekapacitet end porebeton, ville indetemperaturen overskride 26 °C i kun ca. 45 timer (95) og 27 °C i ca. 10 timer (45) i den ovenfor definerede opholdstid. I parentes er angivet timeantallet når indvendige skillevægge er porebeton, og det ses at antallet af overtemperaturer er væsentligt reduceret, og komfortkravene er nu opfyldt. Udover den positive effekt på indeklimaet, vil der være en lille positiv effekt på opvarmningsbehovet svarende til en reduktion på ca. 100 kWh/år, idet den lagrede varme vil kunne udnyttes i perioder med varmebehov.

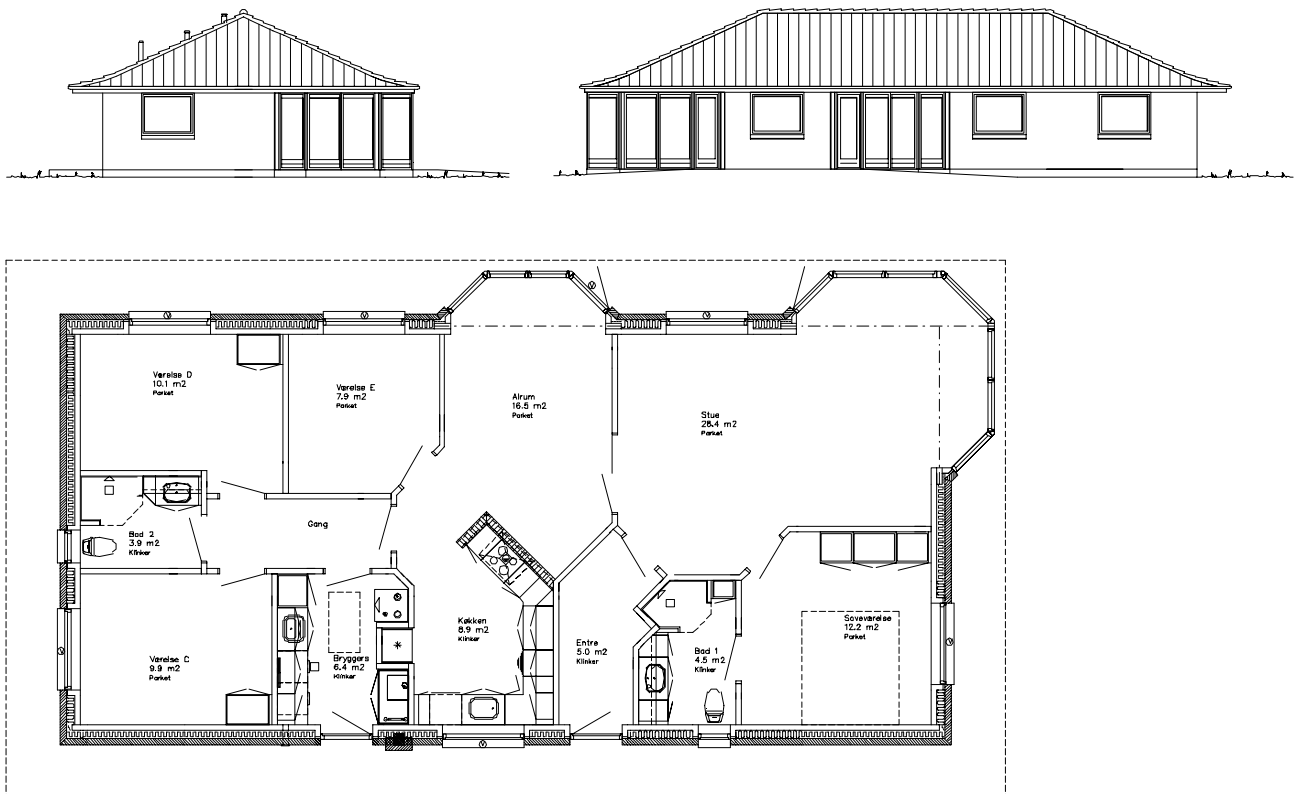
4 BAGGRUND FOR VALG AF KONSTRUKTIONER / SYSTEMER

Valg af konstruktioner og systemer til det aktuelle forsøgshus har taget udgangspunkt i et typisk enfamiliehus som det ville være blevet bygget i dag for at opfylde nugældende varmeisoleringskrav (benævnes referencehus i det følgende). Efterfølgende er der foretaget en optimering af huset med hovedvægt på det energimæssige, således at huset holder sig inden for en energiramme på 67 % af det nuværende energirammekrav. Det optimerede hus benævnes forsøgshuset i det følgende.

Optimeringsforløbet har primært drejet sig om at fastlægge gode energieffektive løsninger vedrørende de enkelte konstruktioners isoleringsgrad, bygningsudformning (placering og størrelse af udhæng og vinduer mm.) samt varme- og ventilationsanlæg, baseret til dels på totaløkonomiske vurderinger. Ved de totaløkonomiske vurderinger er der taget højde for alle faktorer som påvirker husets energibalance, og vurderingerne er foretaget over en periode som svarer til den forventede levetid. I den samlede vurdering af løsningerne er der naturligvis taget hensyn til det arkitektoniske og æstetiske udtryk.

4.1 Referencehus vs. forsøgshus

Referencehuset har et bruttoareal på 139 m², mens forsøgshuset er 135 m². Forskellen skyldes at en række karnapvinduer i referencehuset er fjernet og erstattet af vinduespartier i niveau med facaden (mere herom nedenfor). Referencehusets facader og grundplan er vist i Figur 6.



Figur 6. Facader og grundplan for referencehus. Bemærk de store uafskærmede vinduespartier i alrum og stue samt det forholdsvis store og lavtsiddende udhæng ved brystningsvinduer.

Der er i forsøgshuset anvendt en række varmeteknisk forbedrede løsninger. Forskelle mellem referencehuset og forsøgshuset er skitseret i Tabel 13.

Tabel 13. Oversigt over varmetekniske forbedringer i forsøgshuset.

Bygningsdel	Referencehus	Forsøgshus
Ydervægge	150 mm isolering (U=0,21)	200 mm isolering (U=0,17)
Terrændæk	225 mm isolering (U=0,14)	250 mm isolering (U=0,13)
Tag/loft	300 mm isolering (U=0,12)	400 mm isolering (U=0,09)
Vinduesfals	60 mm isolering	85 mm isolering
Fundamentssokkel	To skifter massive letklinkerblokke	To skifter letklinkerblokke med midterisolering
Vinduer/døre	Trævinduer	Trævinduer med sprosser
Rudekant	Afstandsprofil i stål	Afstandsprofil i komposit
Ventilation	Mekanisk udsugning med brugsvandsvarmepumpe	Mekanisk ventilation med varmegenvinding

Desuden er der foretaget en række ændringer af vinduer og døre samt tagudhæng som ikke fremgår af Tabel 13. Disse er følgende:

- Fjernelse af karnapper, hvilket har reduceret vinduesarealet med ca. 7 m² og gulvarealet med ca. 4 m².
- Tagudhænget er reduceret fra ca. 1 m til ca. 0,6 m, og det er blevet hævet ca. 0,2 m.
- Karmens tykkelse/dybde er øget fra 115 mm til 140 mm for at kunne dække over en forøget isolering i falsen.
- Der er anvendt vinduer med sprosser af æstetiske grunde.

I bilag 1 og 3 er vist forsøgshusets facader og grundplan, hvor man kan se de nævnte ændringer.

Vinduer og døre i referencehuset udgør 37,8 m², hvilket svarer til ca. 27 % af det opvarmede etageareal. Dette er en stor andel og beregninger har også vist at der generelt er problemer med meget høje temperaturer i sommerperioden. Fjernelse af karnapper og dermed et reduceret vinduesareal, større udhæng ved høje vinduespartier og mindre/hævet udhæng ved brystningsvinduer resulterer i væsentligt færre overtemperaturer og løser til dels "problem" med for lidt sol-/lysindfald gennem brystningsvinduer i fyringssæsonen. Det forøgede solindfald gennem brystningsvinduer vil især i vinterperioden kunne udnyttes næsten 100 % til opvarmning af huset. En anden fordel ved at hæve tagudhænget er at isoleringen i tagfoden vil kunne øges.

Den samlede effekt på solindfaldet af de nævnte tiltag vedr. vinduer og udhæng er opgjort i Tabel 14. Typisk vil facaden med de to karnapper/glaspartier være orienteret mod syd, og solindfaldet er derfor opgjort for denne orientering.

Tabel 14. Solindfald for referencehus og forsøgshus i hhv. fyringssæson og sommerperiode. Facade med karnapper/glaspartier antages sydvendt.

	Fyringssæson	Sommerperiode
Referencehus	2892	2968
Forsøgshus	2254 (- 22 %)	2159 (-27 %)

Det fremgår af Tabel 14, at de samlede tiltag har reduceret solindfaldet betydeligt, svarende til 22 % og 27 % i hhv. fyringssæson og sommerperiode.

I Tabel 15 er vist en oversigt over de varmetekniske konsekvenser som følge af de nævnte ændringer vedrørende specifikt vinduer og døre.

Tabel 15. Varmetekniske data for vinduer og døre for hhv. referencehus og forsøgshus.

Referencehus	Forsøgshus
$U = 1.43 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U = 1.43 \text{ W/m}^2\text{K}$
$U_g = 1.17 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_g = 1.17 \text{ W/m}^2\text{K}$
$U_f = 1.40 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_f = 1.46 \text{ W/m}^2\text{K}$
$\Psi_g = 0.071 \text{ W/mK}$	$\Psi_g = 0.044 \text{ W/mK}$
$g = 0.63$	$g = 0.63$
$L_t = 0.79$	$L_t = 0.79$
karmdybde = 115 mm	Karmdybde = 140 mm

Det fremgår af tabellen at den samlede gennemsnitlige U-værdi er uændret på trods af at linie-tabskoefficienten for rudekanten er reduceret med ca. 40 %. Dette skyldes at der er indført sprosser i forsøgshuset, hvorfor rudeandelen er mindsket. Da varmetabet gennem sprossen er større end gennem ruden, opvejer effekten af de indførte sprosser altså effekten af den ”varme” rudekant. I øvrigt reducerer sprosserne solindfaldet.

4.2 Økonomisk vurdering af energibesparende tiltag

Der foretages i det følgende en vurdering af forskellige energibesparende tiltag vedrørende ventilationssystem og klimaskærm. Der redegøres først for de vurderingsmetoder der er anvendt samt beregningsforudsætninger.

4.2.1 Vurderingsmetode

I beregningerne er anvendt simpel tilbagebetalingstid og nuværdi som økonomisk målestok/kriterium. Den simple tilbagebetalingstid er defineret som den samlede investering divideret med den årlige besparelse. Ved investering i energitiltag i bygninger kan det normalt antages, at de årlige besparelser er konstante over bygningsdelens levetid eller ind til større genopretning er påkrævet. Nuværdien (også kaldet Net Present Value) måler den totale værdiforøgelse, som ”projektet” genererer udover den opnåede (valgte) forrentning. Inflationseffekten er medtaget gennem valg af realrente og en konsekvent anvendelse af dagspriser.

Nuværdien over en vis periode afhænger af bygningsdelens levetid og realrenten. Ved bestemmelse af nuværdien opgøres alle omkostninger og besparelser til periodens start med den reelle kalkulationsrente (realrente efter skat). Realrenten kan tilnærmet beregnes som:

$$r_r = r_n \cdot (1 - s) - i_e$$

hvor	r_n	Er den nominelle rente i pct./år
	i_e	Er energiprisens stigningstakst i pct./år
	s	Er beskatningen af renter som decimalbrøk

Realrenten har siden 1990 ligget konstant på mellem 2 og 3 pct./år og derfor vil det være rimeligt at regne med en realrente på 2,5 pct./år. Renteniveau, inflation og energiprisens stigningstakst er normalt sammenkoblede økonomiske størrelser, således at de stiger og falder i samme takt. Den norma-

le sammenkobling kan selvfølgelig blive forrykket, hvis der i bygningsdelens levetid sker væsentlig ændring af afgifts- eller beskatningsforhold, f.eks. på energi.

For anlæg – som bygninger – med levetid over 20 år kan regnes med lineær afskrivning og indregning af restværdi (skrapværdi). For en bygningsdel med en levetid på f.eks. 100 år er det ensbetydende med at 30 % af investeringen regnes afskrevet over en 30 årig periode, og at restværdien er 70 % af investeringen opgjort i nutidigt prisniveau.

4.2.2 Beregningsforudsætninger

Priser er generelt angivet i år 2003 niveau. Energipriser er indhentet ultimo 2002 og er inkl. moms og afgifter. Disse er for nuværende omtrent på samme niveau.

Opvarmning af de danske boliger foregår primært med fjernvarme eller varme fra olie- og naturgasfyr. I fremtiden må det forventes at olie erstattes af mere miljøvenlige brændsler, såsom naturgas. Individuelle naturgaskedler er typisk kondenserende med en årsnyttevirkning på ca. 100 % i forhold til den nedre brændværdi på 39,6 MJ/m³. Prisen på fjernvarme er baseret på oplysninger fra Danske Fjernvarmeværkers Forening, og er et landsgennemsnit vægtet i forhold til de enkelte fjernvarmeværkers salg af varme og er naturligvis ekskl. faste afgifter (som udgør ca. 25 %). Der er altså tale om den gennemsnitlige marginalpris. Denne pris ligger på ca. 0,50 kr/kWh. For det konkrete hus i denne rapport, beliggende i Snekkersten, er marginalprisen også ca. 0,50 kr/kWh.

Elprisen er baseret på normaltariffer, hvor elprisen er uafhængig af leveringstidspunktet. Elprisen kan dog variere hen over året. Dette skyldes for det første, at andelen af miljøvenlig el/PP (prioriteret produktion) varierer måned for måned. For det andet skyldes det, at prisen på el, der bliver indkøbt på markedsvilkår, afhænger af prisudviklingen på el-børsen. Der anvendes en skønnet gennemsnitlig elpris (ekskl. abonnement) baseret på markedspris og afgifter ultimo 2002 samt med hensyntagen til den varierende andel af miljøvenlig el.

I Tabel 16 er vist en oversigt over energipriser for boliger.

Tabel 16. Energipriser for boliger afhængig af opvarmningsform.

Opvarmningsform	Energipris [kr./kWh]
Naturgas	0,55
Fjernvarme	0,50
El	1,50

De totaløkonomiske vurderinger foretages over en 30 årig periode. I den forbindelse er prognoser for energipriser og realrente forbundet med store usikkerheder, blandt andet fordi det tidsmæssige perspektiv er så langt. Med hensyn til energipriser er der en klar tendens til at disse vil stige i de kommende år. Det er valgt at betragte tre scenarier mht. energipriser og realrente (se Tabel 17). Scenarie 1 svarer omtrent til de nuværende økonomiske forhold. Scenarie 2 svarer til dobbelt så høje energipriser, mens scenarie 3 er en variant af scenarie 2, idet realrenten er reduceret fra 2,5 til 0 % p.a. (en udvikling der allerede er sket i visse andre lande).

Tabel 17. De tre økonomiske scenarier der betragtes.

Scenarie	Elpris [kr/kWh]	Varmepri [kr/kWh]	Realrente [% p.a.]	Beregningsperiode [år]	Nuværdifaktor f
1	1,5	0,5	2,5	30	21
2	3,0	1,0	2,5	30	21
3	3,0	1,0	0	30	30

Levetiden for klimaskærmen sættes til 100 år, hvilket tilnærmelsesvis vil gælde for isoleringen og det bærende element i klimaskærmen, mens der for vinduer forudsættes en levetid på ca. 30 år. For ventilationsanlæggets vedkommende er antaget en levetid for aggregatet på 20 år, mens kanalsystemet har en væsentligt længere levetid, svarende til omtrent samme levetid som klimaskærmen.

4.2.3 Ventilationssystem

En af de væsentligste årsager til at et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding er valgt i forsøgshuset skyldes at anlægget totaløkonomisk set klarer sig bedre end alternative ventilationssystemer/-anlæg. Dette fremgår af nedenstående, hvor der er foretaget en sammenligning af en række ventilationssystemer med og uden varmegenvinding. Følgende systemer betragtes:

Mekanisk udsugning

Naturlig ventilation

Mekanisk udsugning med brugsvandsvarmepumpe (Nilan VGU 250),

Mekanisk ventilations- og varmegenvindingsanlæg med kombineret brugsvands- og varmluftproduktion (Nilan VP18)

Mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding (Nilan Comfort300)

Krav til luftskifte/volumenstrøm

Ventilationsbehovet er beregnet for referencehuset, der har et nettoareal på 118 m² og en rumhøjde på 2,4 m, svarende til et nettovolumen på 283 m³.

Bygningsreglementets krav til luftskiftet ved brug af mekanisk ventilation, er for det betragtede hus 216 m³/h (60 l/s) svarende til et luftskifte på ca. 0,8 h⁻¹. Dertil kommer infiltration gennem utætheder i klimaskærmen (luftskiftet udenom ventilationsanlæg). Men dette kan minimeres og regnes derfor ikke at aflaste ventilationsanlægget ift. at opnå den ønskede volumenstrøm.

Kravet ved naturlig ventilation er et samlet luftskifte på mindst 0,5 h⁻¹, svarende til en volumenstrøm på 142 m³/h. Der er altså en forholdsvis stor forskel på de to krav. For bedst muligt at belyse økonomien sammenlignes de forskellige ventilationssystemer ved volumenstrømme svarende til begge disse krav.

Beregningsforudsætninger

Forudsætninger vedrørende energiforbrug, anlægsomkostninger og driftsomkostninger er der redegjort for i bilag 13.

Resultater

I Tabel 18 og Tabel 19 er vist den totaløkonomiske besparelse over 30 år (nuværdien) for de enkelte ventilationsanlæg i forhold til et mekanisk udsugningsanlæg. Negative tal udtrykker en merudgift i forhold til referencen. Naturlig ventilation er taget med i sammenligningen til orientering, men er strengt taget ikke sammenlignelig med de andre anlæg, da luftskiftet er svært at styre.

Tabel 18. Besparelse over 30 år ift. mekanisk udsugning for forskellige økonomiske scenarier. **Volumenstrøm på 216 m³/h.**

Scenarie nr.	Rente/el-pris/varmepris	Mek. udsug.	Naturlig vent.	VGU250	VP18	Comfort300
1	2,5 / 1,5 / 0,5	0	(19510)	- 16894	- 41506	7270
2	2,5 / 3,0 / 1,0	0	(32069)	- 16894	- 40905	54060
3	0 / 3,0 / 1,0	0	(41888)	- 20250	- 43883	91380

Tabel 19. Besparelse over 30 år ift. mekanisk udsugning for forskellige økonomiske scenarier. **Volumenstrøm på 142 m³/h.**

Scenarie nr.	Rente/el-pris/varmepris	Mek. udsug.	Naturlig vent.	VGU250	VP18	Comfort300
1	2,5 / 1,5 / 0,5	0	(13231)	- 16894	- 50066	- 4681
2	2,5 / 3,0 / 1,0	0	(19510)	- 16894	- 58041	30158
3	0 / 3,0 / 1,0	0	(23888)	- 20250	- 68423	57120

Det ses af Tabel 18 og Tabel 19 at mekanisk ventilation med varmegenvinding (Comfort300) giver den bedste totaløkonomi af de betragtede anlæg ved både det store og lille luftskifte og for samtlige scenarier, hvis der ses bort fra naturlig ventilation samt mekaniske udsugning ved den lave volumenstrøm. Naturlig ventilation giver den største besparelse i ét tilfælde, nemlig under scenarie 1, men som nævnt er naturlig ventilation ikke så relevant at medtage i sammenligningen.

Der er i Tabel 20 beregnet tilbagebetalingstider for investering i Comfort300-anlægget frem for mekanisk udsugning med og uden udnyttelse af luftens varme til brugsvandsvandsopvarmning. Naturlig ventilation er igen blot medtaget til orientering. Tilbagebetalingstiden skal naturligvis sættes i forhold til levetiden, der for aggregatets vedkommende er i størrelsesordenen 20 år, mens kanalsystemet har en væsentligt længere levetid.

Tabel 21. Sempel tilbagebetalingstid for investering i ventilationsanlæg med varmegenvinding i forhold forskellige referencer.

Tiltag	Merudgift [kr]	Besparelse i drifts-omkostninger [kr/år] Scenarie 1 / Scenarie 2/3	Tilbagebetalingstid [år] Scenarie 1 / Scenarie 2/3
Volumenstrøm på 216 m³/h			
Comfort 300 ift. VGU250	17500	1986 / 4221	8,8 / 4,1
Comfort 300 ift. mek. udsug.	26000	1736 / 3971	15,0 / 6,5
Comfort 300 ift. naturlig vent.	33125	1136 / 2771	(29,9 / 12,3)
Volumenstrøm på 142 m³/h			
Comfort 300 ift. VGU250	17500	1415 / 3079	13,3 / 6,1
Comfort 300 ift. mek. udsug.	26000	1165 / 2829	22,3 / 9,2
Comfort 300 ift. naturlig vent.	33125	865 / 2229	(38,3 / 14,9)

Det ses af Tabel 21, at tilbagebetalingstiden for investering i et Comfort 300-anlæg frem for et VGU250-anlæg er ca. 9 år, hvis der forudsættes energipriser svarende til dagens niveau (scenarie 1) og et luftskifte svarende til nuværende krav til mekanisk ventilation. Ved et luftskifte på 0,5 h⁻¹ er tilbagebetalingstiden ca. 13 år. Set over 30 år er der tale om en besparelse på mellem 24000 kr. og

112000 kr. afhængig af økonomiske scenare. Det fremgår også af tabellen at tilbagebetalingstiden er forholdsvis lang når Comfort 300 sammenlignes med mekanisk udsugning og naturlig ventilation.

Naturlig ventilation og mekanisk udsugning fremstår fordelagtige i de økonomiske sammenligninger. Det skal i den forbindelse dog bemærkes at udover det rent økonomiske er der en række indeklimamæssige fordele forbundet med at have mekaniske ventilation med varmegenvinding, idet der er mulighed for filtrering af den friske udeluft der tilføres, og denne luft vil blive forvarmet til næsten indetemperatur inde den blæses ind i boligen, hvilket vil betyde næsten ingen trækgener. Desuden vil risikoen for fugtskader være mindsket betydeligt sammenlignet med naturlig ventilation.

4.2.4 Klimaskærm

De energibesparende tiltag, der vedrører klimaskærmen, er også forsøgt vurderet økonomisk.

Anlægsudgifter

Merudgifter er oplyst af Lind & Risør. I Tabel 22 er vist en oversigt over merudgifter for forsøgshuset og nedenfor tabellen følger nogle kommentarer til de angivne priser.

Tabel 22. Oversigt over merudgifter for forsøgshus (ekskl. moms).

Bygningsdel	Referencehus	Forsøgshus	Merudgift
Loft, isolering	300 mm	400 mm	45 kr./m ²
Ydervæg, isolering ¹	150 mm	200 mm	52 kr./m ²
Terrændæk, isolering	225 mm	250 mm	10 kr./m ²
Terrændæk, singels	100 mm	75 mm	≈ 0
Fundamentsokkel v. væg	Letklinkerblok 350 mm	Midterisol. Letklinkerblok 390mm	76 kr./m
Randfundament	350 mm beton	390 mm beton	50 kr./m
Afstandsprofil	Galvaniseret stål	Komposit + stålfolie	75 kr./m ² glasareal
Vinduekarm	115 mm dyb	140 mm dyb (25 mm påføring)	10000 kr.

¹ Isolering inkl. ændringer ved vinduesfals, længere bindere mv.

Der er som nævnt i afsnit 2.1.4. foretaget en krydsforskalling i loftkonstruktionen, hvilket har forbedret muligheden for at foretage el-installationer uden at beskadige dampspærren. Denne krydsforskalling koster 30 kr/m², men er ikke medtaget i beregningerne, da de varmetekniske konsekvenser af løsningen er svær at opgøre.

Desuden skal det bemærkes at den 25 mm påføring af vindueskarmen, der skal sikre en god kuldebroisolering i falsen, er en dyr løsning da den ikke er standard. I forbindelse med indførelsen af nye skærpede energikrav må det forventes at en sådan påføring bliver mere udbredt, og Lind & Risør vurderer at en merpris på 50 % af ovennævnte vil være mere realistisk. Der regnes derfor i det følgende med en merpris på 5000 kr.

Vurdering af de enkelte tiltag

Der er foretaget en beregning af de simple økonomiske tilbagebetalingstider for de isoleringsmæssige tiltag, idet der regnes på referencehuset med karnapfacader sydvendt. Energibesparelserne er fundet ved at regne på huset med og uden det enkelte tiltag indført, og er bestemt vha. detaljerede varmetabsberegninger og simuleringer i BSIM2000. Der er også foretaget beregninger af totaløkonomien set over 30 år for de tre scenarier i tabel 17. I Tabel 23 er resultaterne angivet.

Tabel 23. Simpel tilbagebetalingstid og totaløkonomisk besparelse over 30 år for isoleringsmæssige tiltag samt afstandsprofil i rudekanten.

Tiltag	Merudgift	Energi-	Tilbagebetalingstid	Besparelse over 30 år
	inkl. moms [kr]	besp. [kWh/år]	[år] Scen. 1 / Scen. 2/3	[kr] Scen. 1 / Scen. 2 / Scen 3
Merisolering af klimask. ¹	26626	1234	43 / 22	- 4826 / 8088 / 29032
"Varm rudekant"	2344	325	14 / 7	1057 / 4459 / 7406

¹ Bedre isolering af loft, ydervægge, terrændæk og fundament.

Der er tale om en fornuftige simple tilbagebetalingstider for isoleringsmæssige tiltag og "varm rudekant" i betragtning af den forudsatte levetid på hhv. 100 år og 30 år. For totaløkonomiens vedkommende resulterer de undersøgte tiltag kun i besparelser, undtagen for de isoleringsmæssige tiltag under scenarie 1. Beregningerne viser altså at man totaløkonomisk set kan spare penge på at spare på energien, især hvis energiprisen, som forventet, stiger i fremtiden.

4.2.5 Vurdering af de samlede tiltag

Der er lavet et overslag over de samlede merudgifter for de energi- og indeklimamæssige tiltag der er indført i forsøgshuset samt en vurdering af disse udgifter set i forhold til de samlede energibesparelser.

Det skal bemærkes, at de ændringer der er foretaget vedrørende karnapper, udhæng og vinduer (sprosser), på baggrund af oplysninger fra Lind & Risør, skønnes at udgøre en besparelse på i størrelsesordenen 20000 kr. (ekskl. moms).

De samlede merudgifter er opgjort i Tabel 24.

Tabel 24. Opgørelse over de forøgede anlægsudgifter for forsøgshus sammenlignet med referencehus.

Bygningsdel	Merudgift [kr./m ² / kr./m]	Areal/længde [m ² / m]	Merudgift kr.
Loft, isolering	45	114	5130
Ydervæg, isolering	52	78	4056
Terrændæk, isolering	10	116	1160
Terrændæk, singels	≈ 0	-	-
Fundamentsokkel v. væg	76	38	2888
Randfundament	50	38	1900
Afstandsprofil	75	19	1425
Vinduekarm	-	-	5000
Ventilationsanlæg og vv-beholder	-	-	17500
Besparelse ved fjernelse af karnapper, reduceret udhæng mm.	-	-	- 20000
I alt ekskl. moms			19059
I alt inkl. moms			23824

De samlede energimæssige konsekvenser af at foretage en bedre isolering af klimaskærmen og anvende et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding frem for et udsugningsanlæg med brugsvandsvarmepumpe er opgjort i Tabel 25 og kan sammenlignes med de forøgede anlægsudgifter.

Tabel 25. Energiforbrug for reference- og forsøgshus. Facaden ved alrum og stue er antaget sydvendt.

Bidrag til energiforbrug	Energiforbrug referencehus [kWh/år]	Energiforbrug forsøgshus [kWh/år]
Rumopvarmning	12216	4453
Varmt brugsvand	0	3000
Ventilatorer	400	735
Varmepumpe	1000	-

Der er i Tabel 24 beregnet en samlet merudgift for forsøgshuset på knap 24000 kr. På baggrund af oversigten over de energimæssige forhold i de to huse i Tabel 25 og med energipriser svarende til dagens niveau (scenarie 1), vil energibesparelsen i forsøgshuset svarer til 3379 kr. årligt. Dette giver en meget kort tilbagebetalingstid på 7 år. Med priser svarende til scenarie 2 og 3 vil besparelsen være det dobbelte og tilbagebetalingstiden den halve. Det fremgår at de isoleringsmæssige tiltag og brug af mekanisk ventilation med varmegenvinding samt ændringer vedr. karnapper og tagudhæng har reduceret opvarmningsbehovet med ca. 63 %, hvilket er betydeligt.

Det skal bemærkes at der i ovenstående samlede energimæssige og økonomiske betragtninger er set bort fra herlighedsværdien af at have karnapper og derved fire ekstra m². Det samme gælder det forhold at nogle vil mene at et kraftigt udhæng bidrager positivt til det arkitektoniske udtryk. Fjernelse af karnapper og et mere velbalanceret udhæng medfører et bedre termisk indeklima og til dels bedre visuelt indeklima (mere lys i børne-, sove- og arbejdsværelser), hvilket man samlet set kan påstå vil opveje de ovennævnte negative aspekter. I givet fald er der i forsøgshuset tale om en både billigere og bedre løsning.

Den samlede byggeudgift er ca. 1,3 mio. kr., og derfor er merudgiften til forsøgshuset meget begrænset (få procent). Beregningerne viser at det er muligt for en forholdsvis lille merudgift at foretage væsentlige varmetekniske forbedringer og dermed fremtidssikre et hus energimæssigt.

5 KONKLUSION / SAMMENFATNING

Denne rapport har beskrevet de konstruktive løsninger i et højisoleret enfamilieshuse med ydervægge bestående af skalmurede porebetonelementer. Herudover er der foretaget detaljerede beregninger af varmetab og simuleringer af opvarmningsbehov. Desuden er der foretaget beregning og vurdering af temperaturforholdene i huset og der er redegjort for baggrunden for valg af energibesparende tiltag.

5.1 Varmetab og kuldebroer

Huset samlede varmetabskoefficient er 92,1 W/K. Opgjort pr. m² opvarmet etageareal fås 0,68 W/m²K (denne koefficient er relevant ved sammenligning med andre huse).

Det dimensionerende transmissionstab er på 2824 W, hvoraf de 513 W vedrører de 1- og 2-dimensionale kuldebroeffekter. Kuldebroernes andel udgør derfor 18 %, hvilket er en forholdsvis lille andel, der afspejler de mange energirigtige klimaskærmsløsninger, der er anvendt i huset.

5.2 Opvarmningsbehov og indeklima

Der er foretaget en simulering af opvarmningsbehovet i programmet BSIM2000. Denne beregning viser at der kan forventes et opvarmningsbehov på ca. 4900 kWh, svarende til 47 % af den nugældende energiramme. Der er altså tale om et meget lille opvarmningsbehov, som naturligvis vil være meget afhængigt af brugsmønstret, varmetilskud og solindfald.

Det forholdsvis lille opvarmningsbehov er opnået ved en god isolering af klimaskærmen (250 mm i terrændæk, 200 mm i ydervægge og 400 mm i loft), brug af nogle af de bedste to-lags energiruder på markedet ($U_g = 1,17$, $g = 0,63$) og mekanisk ventilation med effektiv varmegenvinding (90 %).

Beregningerne viser at det samlede transmissionstab udgør 8812 kWh i fyringssæsonen. Heraf udgør transmissionstabet via vinduer og døre 4033 kWh, hvilket svarer til en andel på 46%. Dette er en relativ stor andel i betragtning af at arealet af vinduer og døre kun er 30 m² svarende til 22 % af det opvarmede etageareal.

Der er også foretaget simuleringer af indetemperatur-forholdene. I den forbindelse skal bemærkes der ikke er regnet med nogen form for solafskærmning. Simuleringerne viser overordnet at der ikke er de store problemer med at opfylde kravene vedrørende den operative temperatur specificeret i DS 474 (termisk indeklima). Grunden til at ”det går godt” skyldes i høj grad det relativt lille vindues- og dørareal (22 % af bruttoetagearealet), hvoraf det transparente areal kun udgør 61 % samt et velbalanceret udhæng og den mht. solindfaldet ikke helt optimale orientering af huset.

Der er udsendt et oplæg til nye energibestemmelser i Bygningsreglement 2005. Kort fortalt drejer dette sig om at kravene ændres fra bygningsdeles varmetabskoefficient til bygningens samlede bruttoenergiforbrug, dvs. der bliver fokus på energieffektive bygningsudformninger og installationer samt udnyttelse af solenergi. Bruttoenergirammen skal beregnes som energibehovet til opvarmning, ventilation og køling.

Der er i rapporten foretaget en sådan beregning med baggrund i den metode og de forudsætninger der er angivet i oplægget. Hvis el-behovet i ventilationsanlægget baseres på anvendelse af ventilatorer med energieffektive DC-motorer (som i forsøgshuset) kan beregnes et bruttoenergiforbrug på 9598 kWh/år og da energirammen er 270 MJ pr. m² = 10125 kWh, er den altså overholdt. Huset opfylder altså også skitserne til fremtidens krav, der er lagt op til skal gælde fra år 2005. Hvis el-behovet i ventilationsanlægget baseres på det maksimalt tilladelige i oplæg til BR2005 (2,2 MJ/m³),

der omtrent svarer et typisk anlæg med AC-ventilatorer, kan beregnes et bruttoenergiforbrug på 10861 kWh, og energirammen er dermed ikke overholdt.

5.3 Økonomi

Der er i rapporten foretaget en økonomisk sammenligning af forskellige ventilationssystemers totaløkonomi over 30 år, som viser, at mekanisk ventilation med varmegenvinding økonomisk er betydeligt mere attraktiv end ventilationsløsninger med varmepumpe (varmt brugsvand og kombineret brugsvand/rumopvarmning). Set i forhold til naturlig ventilation og mekanisk udsugning er økonomien omtrent den samme, men det skal bemærkes at der er en række fordele ved mekaniske ventilation med varmegenvinding, som er svære at kapitalisere, men som betyder at løsningen samlet set fremstår som den bedste løsning. Det gælder bl.a. muligheden for filtrering og forvarmning af den tilførte udeluft.

Beregninger viser også at der er god økonomi i de isoleringsmæssige tiltag, idet beregninger over 30 år indikerer at der mindst er tale om en neutral investering eller at der ligefrem kan spares penge på at spare på energien ved disse tiltag, især hvis energiprisen stiger i fremtiden.

Der er foretaget en samlet økonomisk sammenligning af det aktuelle forsøgshus og et typisk tilsvarende hus med karnapper og mekanisk udsugning med brugsvandsvarmepumpe (referencehus). Generelt viser beregningerne at totaløkonomien set over 30 år er noget bedre end for referencehuset, hvis de økonomiske forhold er som i dag. Dette skyldes dog primært at der er dårlig økonomi i en brugsvandsvarmepumpe. Udvikler de økonomiske forhold sig i retning af højere energipriser, hvilket kan forventes, vil forsøgshusets økonomi forbedres yderligere sammenlignet med referencehuset.

Merudgiften for forsøgshuset ift. referencehuset er opgjort til knap 24000 kr., hvilket skal ses i forhold til en samlet byggeudgift på 1,3 mio. kr. Merudgiften svarer altså til en forøgelse på få procent.

5.4 Konklusion generelt

Denne rapport viser at det er muligt, for en meget begrænset merudgift, at opføre et typisk enfamiliehus med et forventet (beregnet) opvarmningsbehov svarende til ca. 50 % af den nugældende energiramme. Energirammen i oplæg til energibestemmelser i BR2005 (bruttoenergiramme) er kun netop overholdt, da der er anvendt energibesparende DC-ventilatorer i ventilationsanlægget. Simulationer af indetemperaturforholdene viser, at disse ligger inden for grænserne specificeret i norm for termisk indeklima.

Transmissionstabet gennem vinduer og døre udgør ca. 50 % af det samlede transmissionstab (arealet udgør 22 % af bruttoetagearealet), selvom der er anvendt trævinduer med energiruder og ”varm” rudekant (ikke-metallisk afstandsprofil). Det er dermed tydeligt, at det er vinduerne, der er det ømme punkt i højisolerede enfamiliehuse.

Det lave opvarmningsbehov skyldes i høj grad brug af mekanisk ventilation med varmegenvinding. Udover muligheden for en effektiv varmegenvinding (80-90 %), har mekanisk ventilation bl.a. den fordel i forhold til naturlig ventilation, at luftskiftet bedre kan styres efter de aktuelle behov. I naturligt ventilerede huse risikerer man et for stort luftskiftet, hvilket har betydelige konsekvenser for varmebehovet.

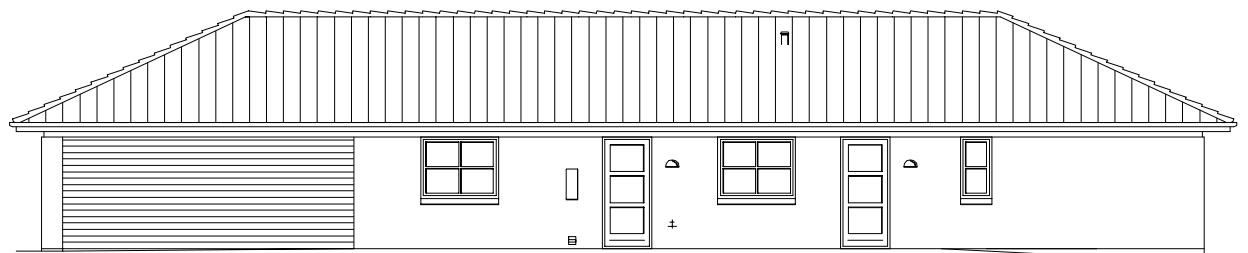
6 REFERENCER

- [1] Bygningsreglement for småhuse inkl. tillæg 1 (BRS 98). Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen. København. 1998.
- [2] HEAT2 (version 5.0). PC-program til beregning af 2-dimensionale varmemstrømme (differensmetode). Blomberg, Afdelingen for Bygningsfysik, Universitetet i Lund.
- [3] HEAT3 (version 3.00). PC-program til beregning af 3-dimensionale varmemstrømme (differensmetode). Blomberg, Afdelingen for Bygningsfysik, Universitetet i Lund.
- [4] THERM 2.1a. Finite Element program til beregning af to-dimensionale varmemstrømme. Lawrence Berkeley National Laboratory (USA), 2001.
- [5] Dansk Standard DS418: Beregning af bygningers varmetab. 6. udgave. 2002-04-03.
- [6] BSIM2000: Et integreret EDB-værktøj til termisk analyse af bygninger og installationer (afløseren for Tsb3). Statens Byggeforskningsinstitut, 2002.
- [7] Oplæg til energibestemmelser i Bygningsreglement år 2005 og skitser til bestemmelser i år 2012. Udkast. Søren Aggerholm, By og Byg, August 2001.
- [8] Energi 2000. Handlingsplan for en bæredygtig udvikling. Energiministeriet, april 1990.
- [9] Prøverapport. Vejledende vurdering af en prototype af ventilationsaggragt – Nilan Comfort 300. Udført for firmaet Nilan A/S, Januar 2002.
- [10] Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Vindueskompendium 3: Detaljerede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata. Rapport U-003, Version 3. BYG-DTU, Danmarks Tekniske Universitet, 2001
- [11] SBI-anvisning 184: Bygningers energibehov. Statens Byggeforskningsinstitut, 1995.
- [12] Bygningsreglement for småhuse: By- og Boligministeriet 1998.
- [13] Design Reference Year, DRY – et nyt dansk referenceår. Meddelelse nr. 281. Jerry Møller Jensen & Hans Lund. Laboratoriet for varmeisolering, DTU, oktober 1995.
- [14] Perez, R., Ineichen, P. og Seals, R. (1990) Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance, *Solar Energy*, vol. 44, p. 271-289.
- [15] DS 474 – Norm for specifikation af termisk indeklima. 1. udgave, december 1993.
- [16] Kragh, J., Weitzmann, P., Svendsen, S. Udformning og styring af energirigtige gulvvarmeanlæg. Sagsrapport SR-02-33. BYG-DTU 2003.

BILAG

På de efterfølgende sider er der vist tegninger af forsøgshuset i sin endelige udformning. Tegningerne er generelt ikke målfaste og det er ikke intentionen at tekst på tegningerne skal kunne læses. Der henvises i stedet for til beskrivelsen af huset i rapportens kapitel 2.

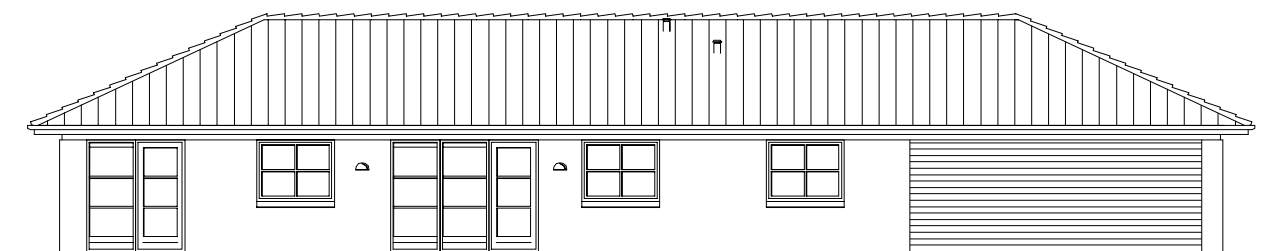
Bilag 1: Facader



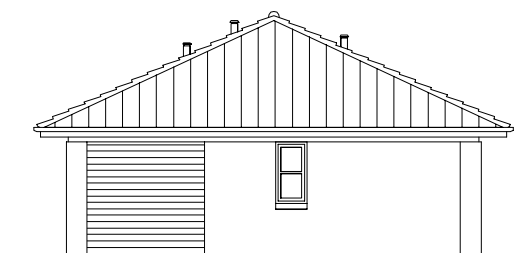
Facade mod Øst



Gavl mod Nord

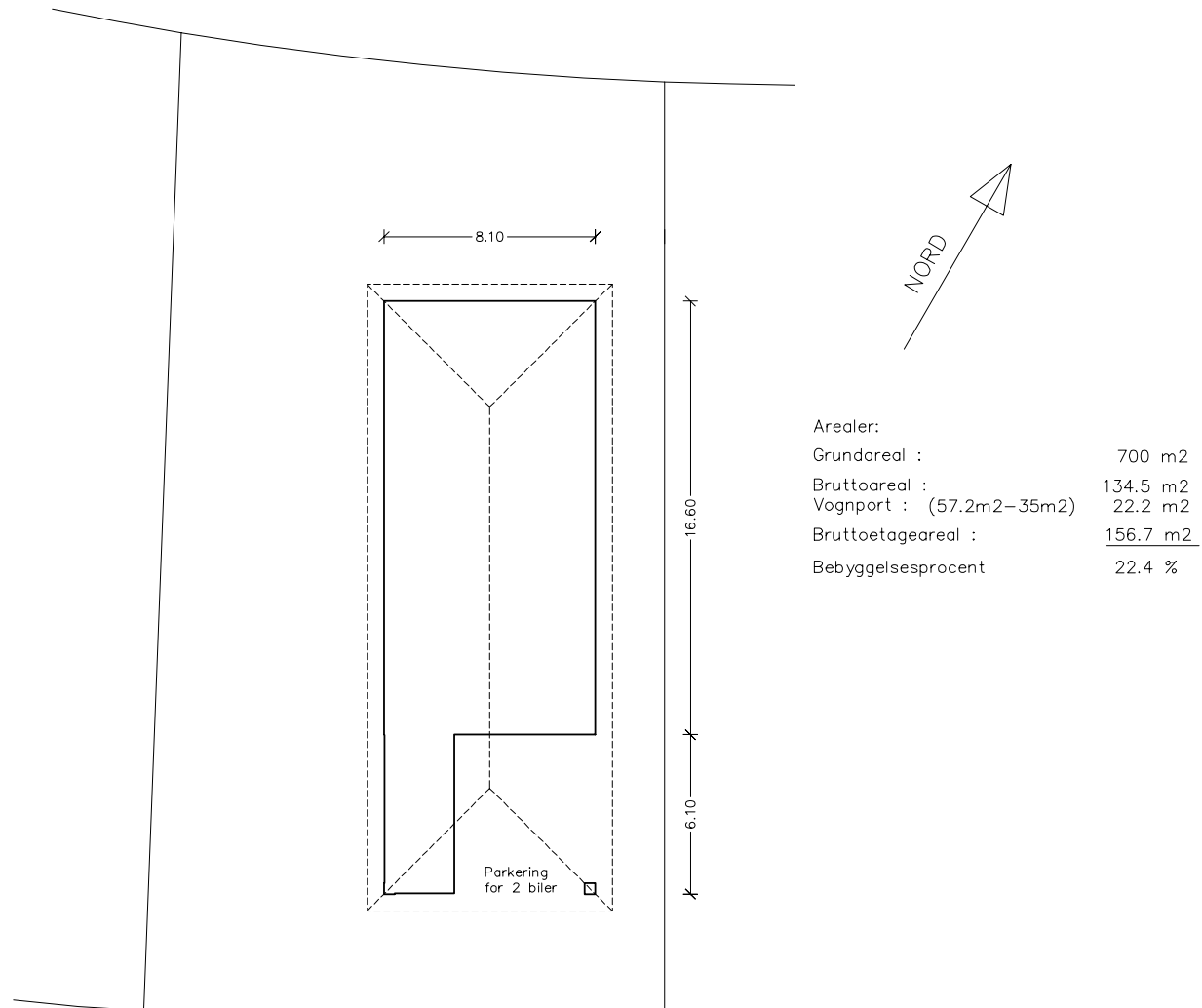


Facade mod Vest

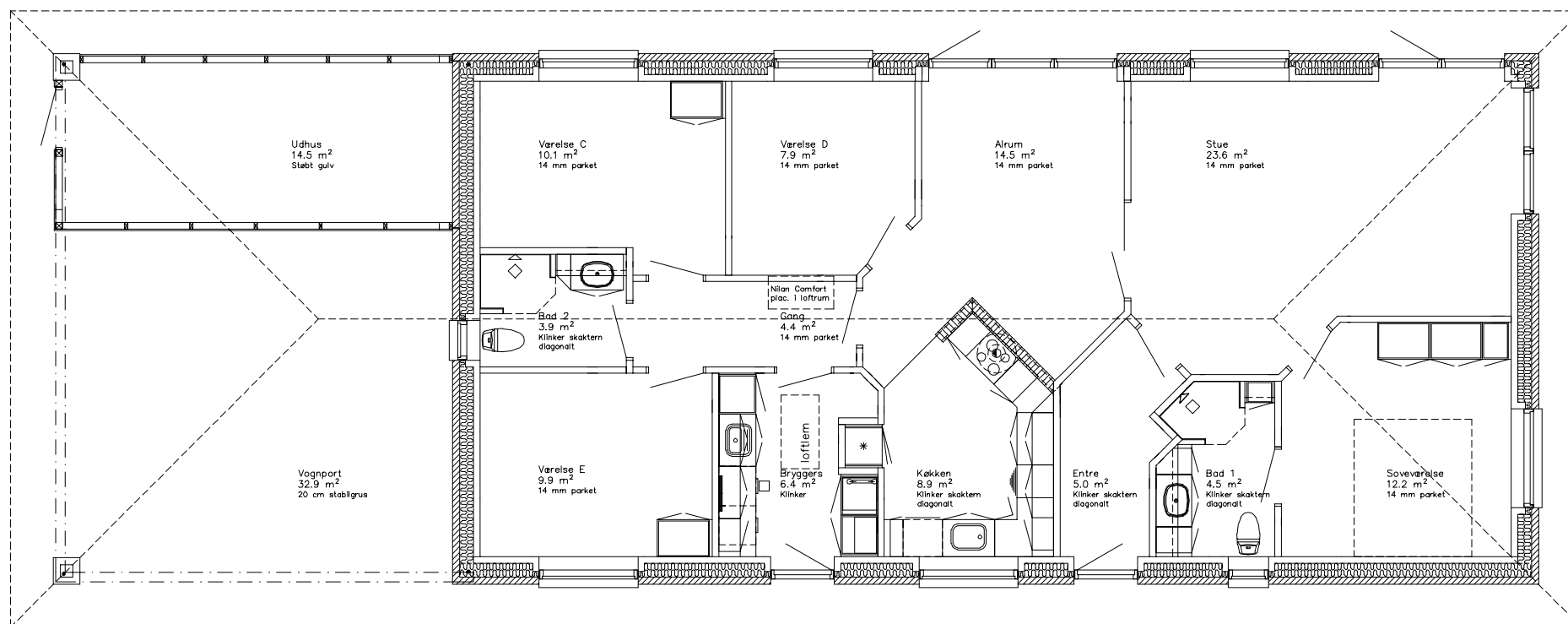


Gavl mod Syd

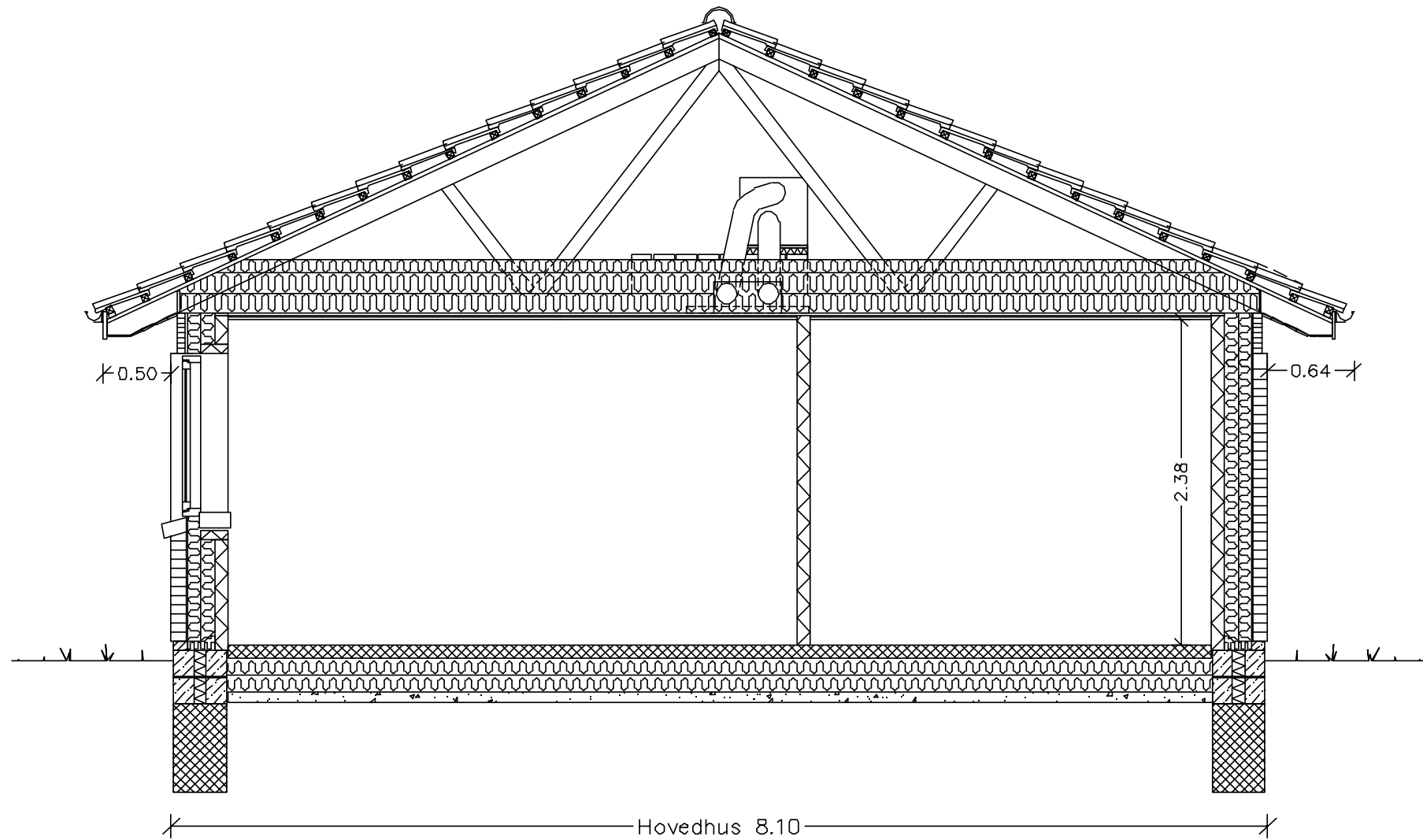
Bilag 2: Situationsplan

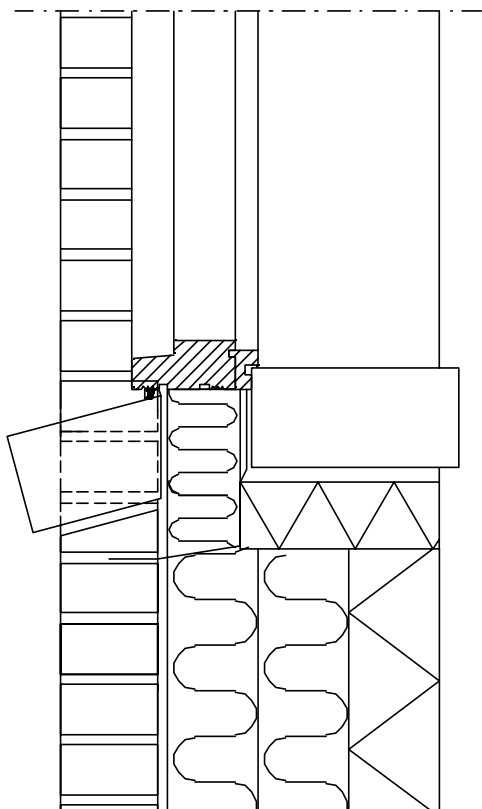


Bilag 3: Grundplan

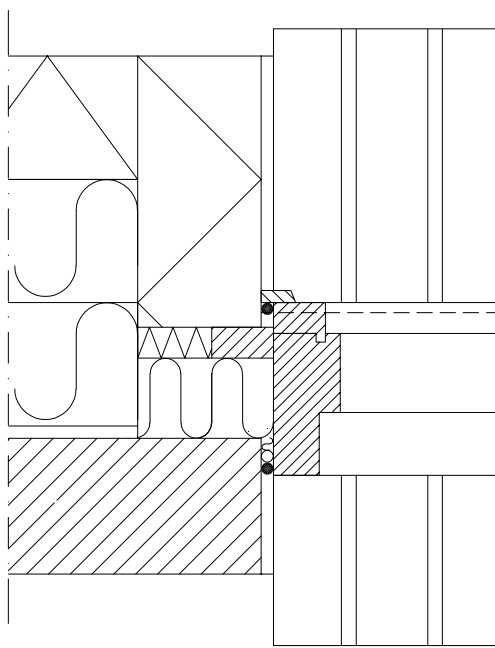
Opvarmet bruttoareal: 135 m²

Bilag 4: Tværsnit

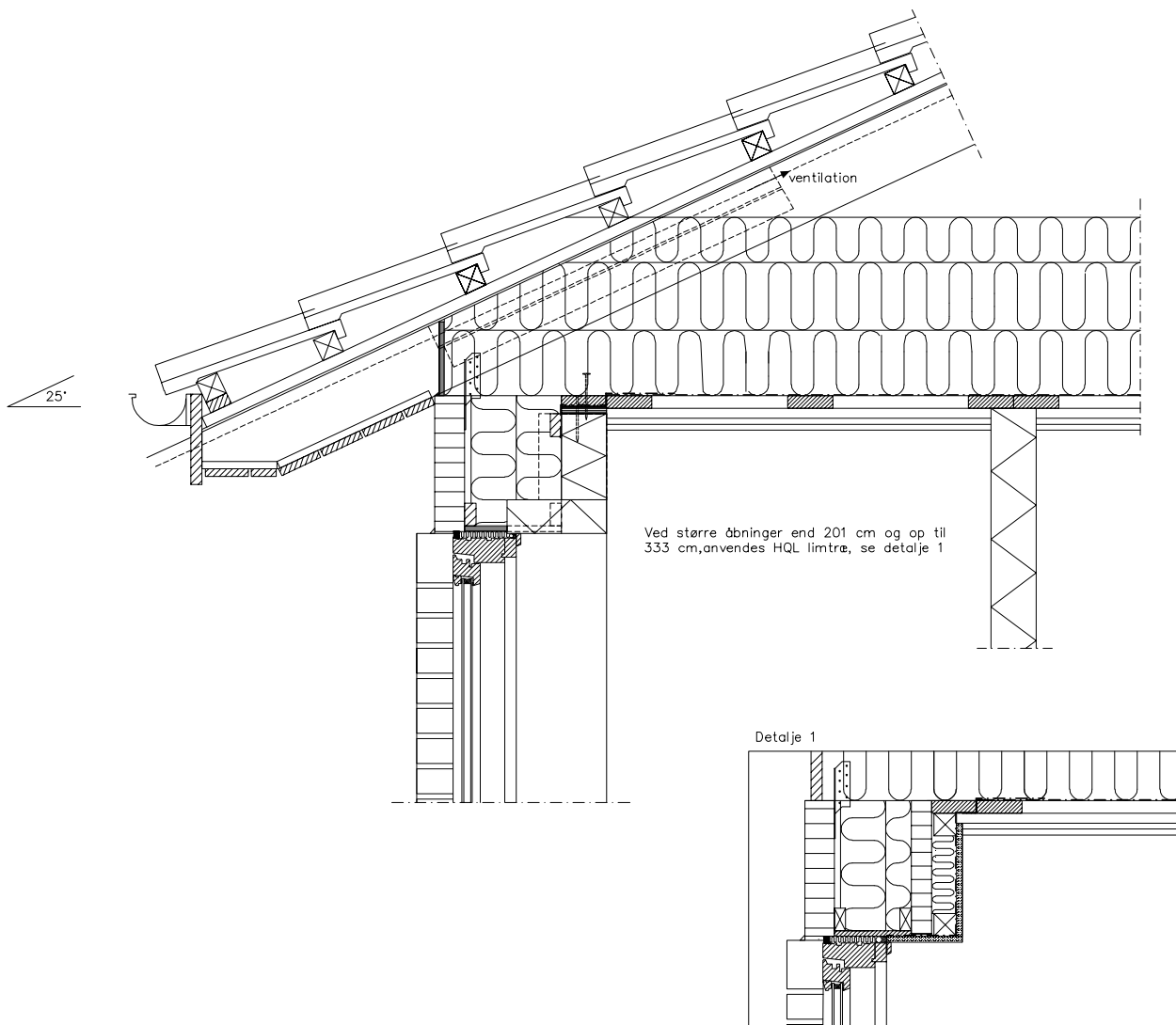




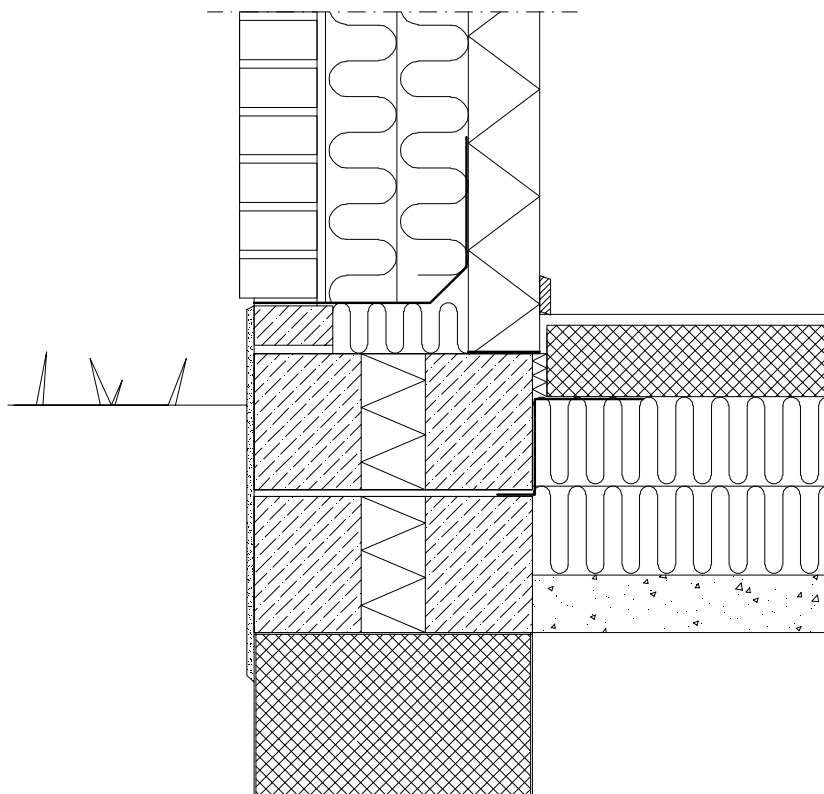
Bilag 5: Lodret snit i underfals



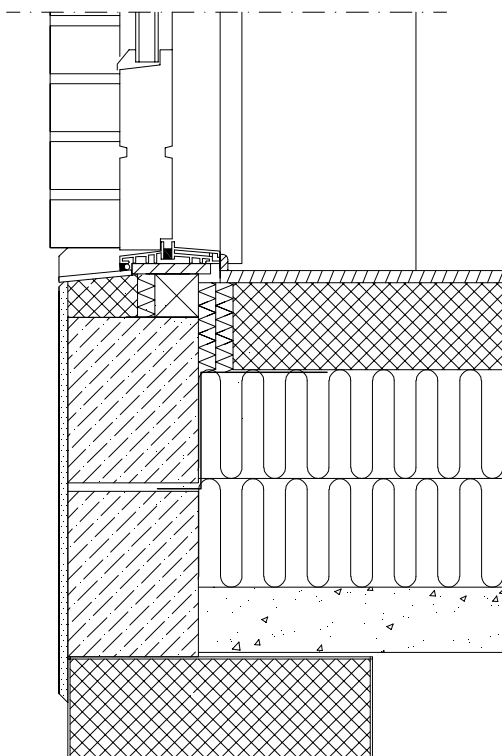
Bilag 6: Vandret snit i sidefals



Bilag 7: Tagfodsdetalje

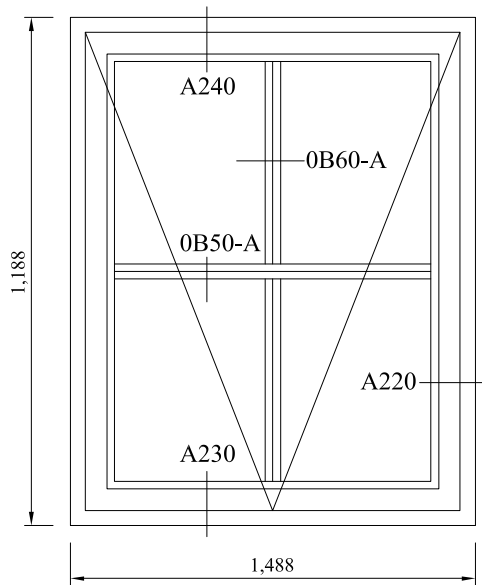


Bilag 8: Fundamentsdetalje ved mur

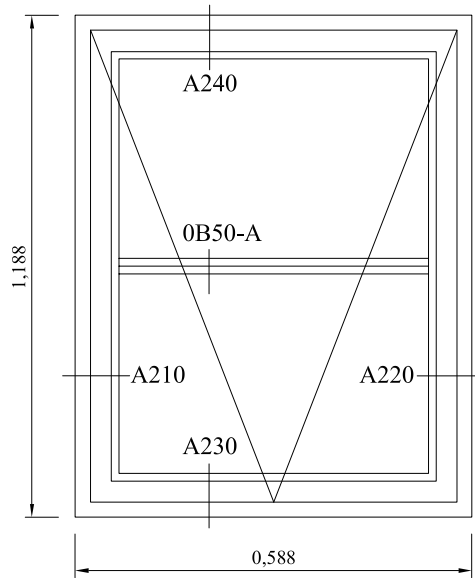


Bilag 9: Fundamentsdetalje ved døre. Ved høje faste vinduespartier er alu-bundstykket erstattet af et karmprofil i træ.

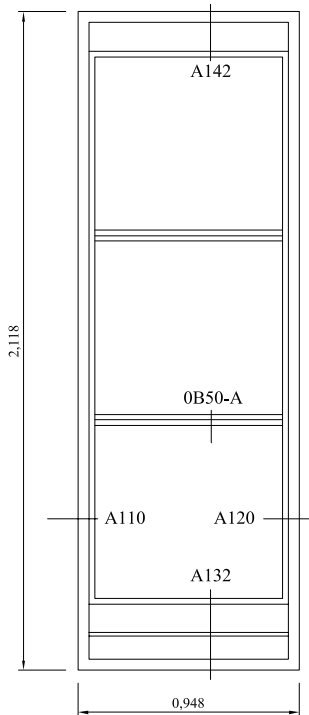
TOPSTYRET VINDUE MED KRYDSSPROSSE
TYPE A21.00



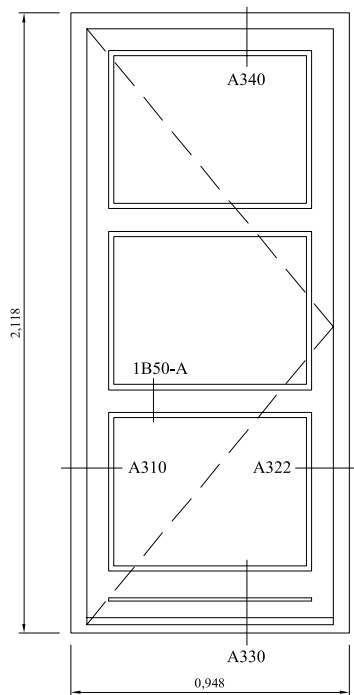
TOPSTYRET VINDUE MED 1 V SPROSSE
TYPE A21.00



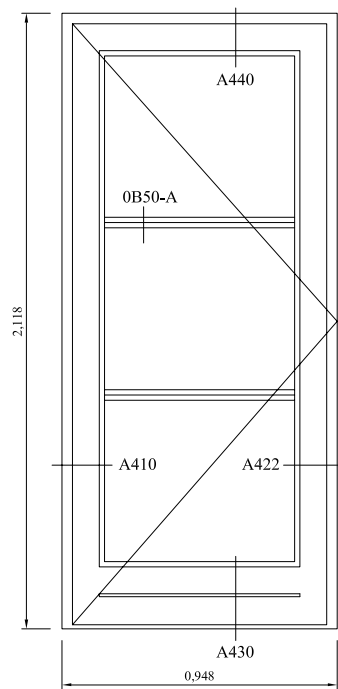
SIDEPARTI MED 2 SPROSSER
TYPE A12.00



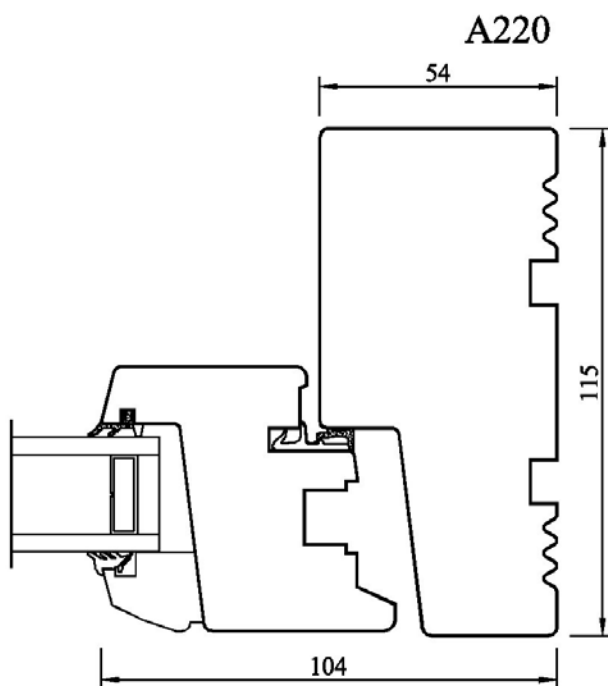
INDADG. FACADEDØR
TYPE A32.12



UDADG. TERRASSEDØR MED 2 SPROSSER
TYPE A31.00



Bilag 10: Vindues- og dørtyper (mål er meter)



Bilag 11: Typisk snit i ramme-karm: sidekarm i oplukkelige vinduer (mål er i mm)

Bilag 12: Varmebalance mm. for grundmodellen. Varmebalancebidrag er i kWh.

		Periode og antal dage									
		Fyrings- sæson 232	Jan 31	Febr 28	Marts 31	April 30	Maj 6	Sept 14	Okt 31	Nov 30	Dec 31
Q opv	Energiforbrug til rumopvarmning	4932	1090	911	715	287	0	18	272	667	971
Q inf	Nettobidrag ved infiltration	-760	-127	-117	-113	-90	-12	-27	-69	-91	-114
Q udl	Varmetab ved udluftning (>24 C)	-103	0	0	0	-36	-59	-6	-2	0	0
Q sol	Energi tilført ved solindfald	1691	86	170	280	476	141	155	222	99	62
Q intern	Varme tilført fra personer&udstyr	3747	501	452	501	485	97	226	501	485	501
Q trans	Transm. tab via klimaskærm*	-8812	-1439	-1312	-1282	-1035	-153	-334	-858	-1079	-1320
Q mix	Vent. tab til naborum	-29	1	0	-2	-9	-4	-9	-6	0	1
Q vent	Vent. tab via ventilationsanlæg	-666	-111	-103	-100	-78	-10	-24	-60	-80	-100
I alt		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T ude	Udetemperatur, månedsmiddel	3,8	-0,5	-1	1,7	5,6	13,5	11	9,1	4,8	1,5
T operativ	Indetemperatur, månedsmiddel	20,3	20	20,1	20,1	20,6	23,2	20,8	20,3	20,1	20
Q veksler	Varme genvundet i vent.anlæg	5999	1005	930	897	703	88	211	539	718	906

*heraf vinduer og døre: 4033 kWh (46 %)

Bilag 13: Forudsætninger for totaløkonomisk sammenligning af forskellige ventilationssystemer.

I tabellen er opgjort de prismæssige forudsætninger. Anlægspriserne er indhentet hos Lind & Risør.

	Levetid år	Naturlig ventilation	Mekanisk Udsugning	Nilan VGU250 luft/vand	Nilan VP18 luft/luft - luft/vand	Nilan Comfort 300 luft/luft
Aggregat	20	0	0	17000	26000	16800
Kanalsæt	100	0	7200	7200	14700	14700
Varmtvandsbeholder	20	7700	7700	0	0	7700
Vægventiler	20	1000	1000	1000	0	0
Aftrækskanaler	100	4000	0	0	0	0
Ventilator	20	0	2500	0	0	0
I alt ekskl. moms		12700	18400	25200	40700	39200
Vejl. udsalgspris inkl. moms		15875	23000	31500	50875	49000

Der er forudsat en levetid på 20 år for varmtvandsbeholder, varmepumpe og ventilationsaggregat, mens kanalsystemet antages at have en levetid som huset, dvs. i størrelsesordenen 100 år.

Nedenfor følger en beskrivelse af fem typer ventilationssystemer der sammenlignes, hvoraf det ene er naturlig ventilation. Følgende anlæg betragtes:

- Mekanisk udsugning
- Naturlig ventilation
- Mekanisk udsugning med brugsvandsvarmepumpe (Nilan VGU 250),
- Mekanisk ventilations- og varmegenvindingsanlæg med kombineret brugsvands- og varmluftproduktion (Nilan VP18)
- Mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding (Nilan Comfort300)

I sammenligningen indgår varmtvandsforbruget, og dette varierer meget. I en rapport om realisering af lavenergihuse [8] nævnes et tal for det samlede forbrug (inkl. tab fra rør og varmtvandsbeholder) på 1000 kWh/person/år for husstande i enfamiliehuse på 2-4 personer. Dette tal bygger på undersøgelser fra forskellige elselskaber, hvori indgik enfamiliehuse både med og uden solvarmeanlæg, varmepumpe og elvarme, og forbruget pr. husstand varierede fra omkring 1500 til omkring 6000 kWh/år. Som overslag for tilførsel af energi til varmtvandsbeholderen benyttes et gennemsnit på 3000 kWh/år, svarende til 3 personer.

Når varmtvandsbeholder og gasfyr placeres sammen, som det er sædvane i nybyggeri, kan det ikke betale sig at slukke fyret om sommeren. Der bliver derfor ikke noget elforbrug til direkte opvarmning af brugsvand. Det samme antages at gælde ved forsyning med fjernvarme. Denne forudsætnin-
ger gælder system 1, 2 og 5.

Ad 1:

Princippet ved mekanisk udsugning er at luft fjernes mekanisk via. en udsugningsventilator og kanalsystem fra de ”forurende rum”, dvs. typisk baderum, køkken og bryggers. Luft tilføres via. friskluftventiler i beboelsesrum. Ventilatorens elforbrug forudsættes at være af samme størrelse som VGU 250 (se ad. 3)

Ad 2:

Den naturlige ventilation forudsættes frembragt via friskluftventiler i beboelsesrum og aftrækskanaler i køkken, bryggers og baderum.

Ad 3:

Nilan type VGU 250 er et udsugnings- og varmegenvindingsaggregat med brugsvandsopvarmning. VGU'en består af en 230 l. varmtvandsbeholder samt en ventilator til udsugning af rumluft. Via et kanalsystem overføres energien fra udsugningsluften til VGU'en.

Nilan oplyser at ventilatorens elforbrug ca. er 400 kWh/år ved en volumenstrøm på 216 m³/h og ca. 200 kWh/år ved 142 m³/h. Med hensyn til varmepumpens effektfaktor, så viser prøvningsrapporten at den er 2,4 ved en brugsvandstemperatur på 55 °C og en fordampertemperatur (indelufttemperatur) på 7 °C. Ved en temperatur svarende til normal rumtemperatur vil effektfaktoren naturligvis være højere. Typisk vil man have en middeleffektfaktor på ca. 3. Med et varmtvandsforbrug på 3000 kWh/år fås at varmepumpen bruger 1000 kWh/år. Det er Nilans erfaring at der ikke er behov for supplerende varmetilførsel til brugsvandsopvarmning, hvilket også gælder for VP18.

Ad 4:

Nilan type VP 18 er et ventilationsaggregat med kombineret varmlufts- og varmtvandsproduktion. VP 18 består af en 180 l. varmtvandsbeholder samt to ventilatorer til hhv. indblæsning og udsugning. Via et kanalsystem overføres energien fra udsugningsluften til VP 18. Denne energi udnyttes til produktion af varmt brugsvand samt suppleringsvarme i form af tempereret indblæsningsluft. I vinterdrift har brugsvandet første prioritet, hvorefter den resterende energi udnyttes til opvarmning af indblæsningsluften. I sommerdrift udnyttes energien til opvarmning af brugsvandet. Overskudsproduktion af varme ledes bort via afkastkanalen.

Der har ikke kunne fremskaffes en detaljeret prøverapport, der kan dokumentere varmepumpens ydelse under realistiske driftsforhold og forskellige volumenstrømme (da en sådan ikke findes). Elforbrug og energitilskud er derfor fastsat ud fra oplysninger fra Nilan og ved egne beregninger.

Der forudsættes som nævnt en varmtvandsproduktion (vvp) på 3000 kWh/år, som varmepumpen normalt kan klare uden brug af supplerende elpatron (hvilket forudsættes). Derudover kan varmepumpen levere en varmluftproduktionen (vlp) svarende omtrent til ventilationstabet (oplyst af Nilan og verificeret skønsmæssigt ud fra oplyste varmeydelser), der antager en værdi af ca. 6134 kWh/år ved en volumenstrøm på 216 m³/h og 4032 kWh/år ved 142 m³/h, hvis der forudsættes en gennemsnitlig inde- og udetemperatur i fyringssæsonen på hhv. 20 °C og 5 °C.

Middeleffektfaktorerne ved vvp og vlp fremgår af nedenstående Tabel 26, ligesom beregnede elforbrug er vist. Sidstnævnte findes ved at dividere varmeproduktionen med effektfaktorerne. Elforbruget til ventilatorerne i forudsættes at være det samme som for Comfort300.

Tabel 26. Effektfaktorer og elforbrug for varmepumpe og ventilatorer.

Luftmængde/volumenstrøm	216 [m ³ /h]	142 [m ³ /h]
Middeleffektfaktor ved vvp [-]	3,2	2,6
Middeleffektfaktor ved vlp [-]	3,5	3
vvp [kWh/år]	3000	3000
vlp [kWh/år]	6134	4032
Elforbrug, vvp [kWh/år]	938	1154
Elforbrug, vlp [kWh/år]	1753	1344
Samlet elforbrug, varmepumpe [kWh/år]	2691	2498
Samlet elforbrug, ventilatorer [kWh/år]	735	300

Ad 5:

Nilan Comfort 300 er et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Via et kanalsystem overføres energien i udsugningsluften til indblæsningsluften via en modstrømsvarmeveksler med en maksimal temperaturvirkningsgrad på ca. 90 %. Der vil typisk ikke være brug for en eftervarmefflade pga. den høje virkningsgrad. Anlægget kan reguleres, så der ikke overføres varme fra udsugnings- til indblæsningsluften, når dette er uønsket (fx om sommeren).

En prototype af Comfort 300 er blevet afprøvet på Teknologisk Institut. Af prøverapporten fremgår det at når ventilatorerne drives af en DC-motor er effektoptaget ca. 84 W, svarende til ca. 735 kWh/år, ved et eksternt modtryk i kanalsystem mm. på 150 Pa og en volumenstrøm på 216 m³/h. Målingerne viser at elforbruget er ca. 300 kWh/år ved en volumenstrøm på 142 m³/h.

De energi- og driftmæssige forhold for de forskellige ventilationssystemer der sammenlignes er sammenfattet i Tabel 27.

Tabel 27. Sammenfatning vedrørende energi-/driftmæssige forhold:

Anlæg	Mek. ud-sug.	Naturlig vent.	VGU250	VP18	Comfort300
Elforbrug, ventilator (kWh/år)	400/200	0	400/200	735/300	735/300
Elforbrug, pumpe (kWh/år)	0	0	1000/1000	2691/2498	0
Varmtvandsforbrug (kWh/år)	3000/3000	3000/3000	0	0	3000/3000
Ventilationstab (kWh/år)	6134/4032	6134/4032	6134/4032	0	613/403
Vedligehold (kr/år)	0	0	250	500	500